



MODEL KLASIFIKASI TINGKAT CONFIDENCE TITIK PANAS SEBAGAI INDIKATOR KEBAKARAN LAHAN GAMBUT

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

AMALIA RIZKIA DAYANI



**DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Model Klasifikasi Tingkat *Confidence* Titik Panas sebagai Indikator Kebakaran Lahan Gambut adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

© Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2018

Amalia Rizkia Dayani
NIM G64140064



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

ABSTRAK

AMALIA RIZKIA DAYANI. Model Klasifikasi Tingkat *Confidence* Titik Panas sebagai Indikator Kebakaran Lahan Gambut. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG.

Titik panas merupakan salah satu indikator terjadinya kebakaran lahan gambut di Indonesia. Oleh karena itu, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia membuat aplikasi berbasis web untuk mendeteksi titik panas dengan nama SiPongi. Setiap titik panas dari SiPongi memiliki nilai *confidence* yang menyatakan tingkat keyakinan suatu titik panas menjadi titik api. Penelitian bertujuan mengklasifikasikan tingkat *confidence* titik panas milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2016 khususnya di pulau Kalimantan dan Sumatra. Nilai *confidence* titik panas tersebut terbagi menjadi 3 kategori yaitu perlu diperhatikan, waspada, dan segera penanggulangan. Algoritme yang digunakan dalam klasifikasi adalah algoritme C5.0. Akurasi rata-rata model berbasis aturan pada *dataset* Kalimantan adalah 82.66% sedangkan *dataset* Sumatra adalah 85.03%. Hasil klasifikasi *dataset* Kalimantan menunjukkan karakteristik *confidence* titik panas dengan kategori segera penanggulangan berada pada wilayah dengan kecepatan angin berada pada rentan 3 knot hingga 6 knot, kelembaban berada pada rentan 73.4% hingga 83%, lama penyinaran berada pada rentan 2.3 jam hingga 9.9 jam, suhu maksimum berada pada rentan 34.1 °C hingga 34.6 °C, dan curah hujan lebih besar sama dengan 0 mm.

Kata kunci: algoritme C5.0, kebakaran lahan gambut, tingkat *confidence*, titik panas.

ABSTRACT

AMALIA RIZKIA DAYANI. Classification Model of Hotspot Confidence Level as Indicator for Peatland Fires. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG.

The hotspot is one of indicators of peatland fires in Indonesia. Therefore, the Ministry of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia made a web to detect hotspot with the name SiPongi. Each hotspot of SiPongi has confidence values which indicate the conviction rate a hotspot becoming a fire spot. The research aimed to classify the confidence level of SiPongi hotspots of 2016, especially on Kalimantan and Sumatra island as the target class. The value of the target class is divided into 3 categories that need attention, alert, and immediate countermeasures. The algorithm used in the classification is the C5.0 algorithm. The average accuracy of rule-based models on the Kalimantan dataset is 82.66% while the Sumatra dataset is 85.03%. The classification results for Kalimantan dataset indicate hotspot with characteristic confidence of hotspots with the immediate countermeasures category in the region with the wind speed is at a vulnerable 3 knots up to 6 knots, the humidity is at a susceptible of 73.4% to 83%, the duration of irradiation is at a vulnerable 2.3 hours to 9.9 hours, the maximum temperature being at 34.1 °C to 34.6 °C, and greater precipitation equals to 0 mm.

Keywords: C5.0 algorithm, confidence level, hotspot, peatland fires.



MODEL KLASIFIKASI TINGKAT CONFIDENCE TITIK PANAS SEBAGAI INDIKATOR KEBAKARAN LAHAN GAMBUT



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

AMALIA RIZKIA DAYANI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer
pada
Departemen Ilmu Komputer

DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2018

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Bogor Agricultural University

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Pengaji :

¹ Lailan Sahrina Hasibuan, SKom MKom

² Dr Eng Annisa, SKom MKom

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Judul Skripsi: Model Klasifikasi Tingkat *Confidence* Titik Panas sebagai Indikator Kebakaran Lahan Gambut
Nama : Amalia Rizkia Dayani
NIM : G64140064



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Disetujui oleh

Dr Imas Sukaesih Sitanggang, SSi MKom
Pembimbing

Diketahui oleh

Prof Dr Ir Agus Buono, MSi MKom
Ketua Departemen

Tanggal Lulus:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bogor Agricultural U



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2018 ini adalah *data mining*, dengan judul Model Klasifikasi Tingkat *Confidence* Titik Panas sebagai Indikator Kebakaran Lahan Gambut.

Penulis menyadari dalam masa perkuliahan sampai dengan pencapaian akhir ini telah banyak pihak yang membantu dan mendukung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1 Bapak Hidayat, Ibu Asniati, saudara kandung penulis Annisa Dayani, dan keluarga lainnya yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kekuatan untuk menyelesaikan penelitian ini.
- 2 Ibu Dr Imas Sukaesih Sitanggang, SSi MKom selaku pembimbing yang senantiasa mengarahkan, memberikan solusi ketika kesulitan, dan ikhlas meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan selama penelitian.
- 3 Ibu Lailan Sahrina Hasibuan, SKom MKom dan Ibu Dr Eng Annisa, SKom MKom selaku pengaju
- 4 Bapak Prof Dr Ir Agus Buono, MSi MKom selaku Ketua Departemen Ilmu Komputer IPB.
- 5 Seluruh dosen dan staf Departemen Ilmu Komputer yang membantu penulis selama menempuh perkuliahan.
- 6 Teman terbaik penulis Riris, Rezi, Sulis, Nindya, Mutiara, Risti, Desi, Anne, Dhea, Nur, dan Widia, atas dukungan, hiburan, dan kenangan selama kuliah di IPB.
- 7 Seluruh teman-teman sebimbang, yaitu Nur, Desi, Risti, Anne, Dhea, David, Miqdad yang saling membantu dan memotivasi.
- 8 Keluarga Ilmu Komputer 51 atas kebersamaan dan persaudaraan selama ini.
- 9 Dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu.

Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Bogor, Juli 2018

Amalia Rizkia Dayani



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vi
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Tujuan Penelitian	3
Manfaat Penelitian	3
Ruang Lingkup Penelitian	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
Kebakaran Hutan dan Lahan	3
Titik Panas	4
Pohon Keputusan	6
Algoritme C5.0	7
METODE	8
Data Penelitian	8
Tahapan Penelitian	12
Perangkat Penelitian	15
HASIL DAN PEMBAHASAN	15
Pembentukan Dataset	15
Tahap 1	17
Tahap 2	23
SIMPULAN DAN SARAN	32
Simpulan	32
Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35
RIWAYAT HIDUP	59

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR TABEL

1	Makna tingkat <i>confidence</i> menurut LAPAN (2016)	5
2	Data Penelitian	9
3	Atribut data titik panas milik KLHK	9
4	Atribut data cuaca dari BMKG	9
5	Atribut data stasiun cuaca dari BMKG	9
6	Atribut data patroli dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)	12
7	Tingkat <i>confidence</i> menurut LAPAN (2016)	13
8	<i>Confusion matrix</i> (Witten et. al 2011)	14
9	Persentase <i>missing value</i> pada data cuaca harian Kalimantan dan Sumatra	18
10	Beberapa contoh hasil dari perhitungan jarak antara lokasi titik panas dengan lokasi stasiun cuaca harian	19
11	Pembagian data latih dan data uji di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra	21
12	Akurasi model pada masing-masing <i>fold</i> (%)	22
13	<i>Confusion matrix</i> untuk model pada <i>fold</i> -3 untuk wilayah Kalimantan	22
14	<i>Confusion matrix</i> untuk model pada <i>fold</i> -7 untuk wilayah Sumatra	22
15	Sensitivitas model klasifikasi yang memiliki akurasi tertinggi (%)	23
16	Pembagian data latih dan data uji setelah <i>oversampling</i> acak	24
17	Akurasi masing-masing model setelah <i>oversampling</i> (%)	25
18	Sensitivitas model klasifikasi yang memiliki akurasi tertinggi setelah <i>oversampling</i>	26
19	<i>Confusion matrix</i> data uji pada model ke-4 untuk wilayah Kalimantan setelah <i>oversampling</i>	26
20	<i>Confusion matrix</i> data uji pada model ke-7 untuk wilayah Sumatra setelah <i>oversampling</i>	26
21	Penggunaan atribut pada model klasifikasi berbasis aturan	28
22	Persentase jumlah aturan pada kelas <i>segera penanggulangan</i> yang mengandung jenis tutupan lahan vegetasi di wilayah Sumatra dan Kalimantan	29
23	Persentase jumlah aturan pada kelas <i>segera penanggulangan</i> yang mengandung kedalaman gambut di wilayah Sumatra dan Kalimantan	29
24	Jumlah titik panas berdasarkan tingkat <i>confidence</i>	32

DAFTAR GAMBAR

1	Peta gambut Pulau Sumatra	10
2	Peta gambut Pulau Kalimantan	11
3	Peta tutupan lahan vegetasi Pulau Kalimantan	11
4	Tahapan penelitian	13
5	Contoh hasil seleksi titik panas pada lahan gambut Kalimantan	16
6	Hasil <i>merge</i> tutupan lahan vegetasi pulau Kalimantan	17
7	Distribusi <i>dataset</i> Sumatra dan Kalimantan untuk masing-masing kelas.	20



8	Grafik distribusi <i>dataset</i> titik panas setelah <i>oversampling</i>	24
9	Lokasi titik panas milik KLHK dan data patroli	31
10	Contoh hasil verifikasi menggunakan metode <i>buffering</i>	31

DAFTAR LAMPIRAN

1	Contoh perhitungan <i>information gain</i>	35
2	Baris kode R untuk mendapatkan model dan informasi lainnya	37
3	<i>Confusion matrix</i> dari model pada data uji sebelum di- <i>oversampling</i>	38
4	Model klasifikasi berbasis aturan dengan algoritme C5.0 menggunakan perangkat lunak R	41
5	Hasil verifikasi menggunakan data patroli dengan menggunakan metode <i>buffering</i>	58



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia memiliki lahan gambut seluas 14.9 juta ha (7.8%) dari total wilayah Indonesia (191.09 juta ha) yang tersebar di Kalimantan, Papua, dan Sumatra (BBSLDP 2011). Luas lahan gambut tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis. Lahan gambut di Indonesia menyimpan karbon. Kandungan karbon ini dapat mencegah emisi lebih lanjut agar suhu bumi tidak naik, ini sangat penting dalam menjaga kestabilan iklim dunia. Namun, luas lahan gambut semakin hari semakin mengkhawatirkan. Kebakaran menjadi salah satu faktor berkurangnya lahan gambut.

Kebakaran di lahan gambut sangat sulit diatasi, api yang terdapat di dalam lapisan lahan gambut berada di bawah permukaan sulit diketahui sebarannya karena tidak dapat dilihat dari permukaan. Kebakaran lahan gambut berpengaruh terhadap terdegradasinya kondisi lingkungan, kesehatan manusia, dan aspek sosial ekonomi bagi masyarakat. Upaya pencegahan dan penanggulangan kebakaran hutan dan lahan diperlukan untuk mengurangi dampak kerugian yang besar. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengendalikan kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan membuat aplikasi berbasis web SiPongi untuk mendeteksi titik panas. Titik panas adalah daerah yang memiliki suhu permukaan relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya berdasarkan ambang batas suhu tertentu yang terpantau oleh satelit penginderaan jauh (LAPAN 2016). Meskipun titik panas dapat mengindikasikan kebakaran, namun tidak semua informasi titik panas yang didapatkan dari satelit adalah titik kebakaran yang sesungguhnya. Perlu analisis terhadap titik panas dan pengecekan langsung di lapangan. Oleh sebab itu, KLHK juga melibatkan berbagai pihak termasuk pemerintah daerah, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), TNI, dan POLRI untuk melakukan patroli terpadu terhadap titik panas secara langsung di lapangan.

Salah satu metode *data mining* yang dapat dilakukan untuk memprediksi kemunculan titik panas adalah metode klasifikasi. Metode klasifikasi dapat digunakan untuk menentukan karakteristik lokasi karhutla. Klasifikasi adalah proses menemukan model yang menggambarkan dan membedakan kelas data atau konsep, tujuannya adalah untuk memprediksi label kelas objek yang label kelasnya tidak diketahui (Han *et al.* 2012). Model klasifikasi dapat diterapkan dengan menggunakan algoritme C5.0. Algoritme C5.0 merupakan perbaikan dari algoritme pohon keputusan ID3 dan pohon keputusan C4.5 (Patil *et al.* 2012).

Penelitian terkait model klasifikasi untuk titik panas telah dilakukan oleh Aprita (2017). Penelitian ini mengklasifikasi kemunculan titik panas menggunakan algoritme C5.0 di Pulau Kalimantan dan Sumatra. Akurasi yang dihasilkan pada dataset Kalimantan tahun 2001 untuk model berbasis pohon keputusan sebesar 71.91% dan model berbasis aturan sebesar 71.91%. Penelitian lainnya terkait algoritme C5.0 terkait titik panas telah dilakukan oleh Siknun dan Sitanggang (2016). Penelitian tersebut membangun aplikasi berbasis web dengan *framework* Shiny



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

untuk klasifikasi ke dalam kelas titik panas dan bukan titik panas menggunakan algoritme C5.0. Keakuratan model klasifikasi untuk memprediksi kejadian titik panas adalah 72.72% pada model pohon keputusan dan 73.51% pada model berbasis aturan. Berdasarkan pemaparan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa klasifikasi menggunakan algoritme C5.0 dapat diterapkan untuk mengklasifikasikan titik panas.

Penelitian ini melakukan klasifikasi pada data titik panas milik KLHK dengan mempertimbangkan nilai *confidence* titik panas. Nilai *confidence* adalah salah satu atribut titik panas yang menyatakan kualitas titik panas yang berpotensi mengakibatkan karhutla. Semakin tinggi tingkat *confidence* titik panas, maka kemungkinan potensi terjadinya kebakaran akan semakin tinggi (LAPAN 2016). Nilai *confidence* titik panas merentang antara 0 (rendah) sampai 100 (tinggi). Giglio *et al.* (2015) dalam MODIS Active Fire Product User's Guide membagi tiga kelas tingkat *confidence* titik panas yaitu kelas rendah, nominal, dan tinggi. Selanjutnya dari kelas tersebut LAPAN (2016) memberi makna tingkat *confidence* berdasarkan tindakan yang perlu dilakukan, yaitu *perlu diperhatikan, waspada, dan segera penanggulangan*.

Data titik panas yang digunakan adalah data titik panas di Kalimantan dan Sumatra tahun 2016. Selain itu penelitian ini menggunakan beberapa faktor tambahan lainnya yang dapat mempengaruhi karhutla. Faktor tersebut adalah tutupan lahan, kedalaman gambut, dan cuaca. Analisis ini diharapkan mendapatkan karakteristik tingkat *confidence* titik panas yang berpeluang tinggi menjadi kebakaran. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat membantu pihak terkait dalam deteksi dini pengendalian karhutla dengan melihat karakteristik tingkat *confidence* titik panas yang berpotensi tinggi menjadi kebakaran di lahan gambut.

Perumusan Masalah

Titik panas adalah indikator terjadinya kebakaran di suatu wilayah. Namun tidak semua informasi titik panas yang didapatkan dari satelit merupakan indikator kejadian kebakaran yang sesungguhnya. Tingkat *confidence* titik panas dapat dijadikan aspek tambahan untuk menentukan lokasi kebakaran. Oleh karena itu, rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1 Bagaimana menerapkan algoritme pohon keputusan C5.0 untuk mengklasifikasikan tingkat *confidence* titik panas menggunakan dataset titik panas milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)?
- 2 Bagaimana karakteristik tingkat *confidence* titik panas yang berpotensi tinggi menjadi kebakaran di lahan gambut berdasarkan data KLHK dan data patroli tahun 2016?
- 3 Bagaimana hasil verifikasi tingkat *confidence* titik panas menggunakan data patroli tahun 2016?



Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1 Membangun model pohon keputusan C5.0 untuk mengklasifikasikan tingkat *confidence* titik panas yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- 2 Memverifikasi hasil klasifikasi tingkat *confidence* titik panas menggunakan data patroli kebakaran hutan dan lahan.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik tingkat *confidence* titik panas berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Harapannya informasi ini dapat digunakan untuk memprediksi tingkat *confidence* titik panas yang berpotensi tinggi menjadi kebakaran sehingga dapat dijadikan sebagai pertimbangan oleh pihak terkait dalam melakukan langkah pencegahan kebakaran lahan gambut secara dini.

Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup dari penelitian ini, yaitu:

- 1 Data yang digunakan pada penelitian adalah data titik panas tahun 2016 milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- 2 Data yang digunakan sebagai karakteristik tingkat *confidence* titik panas adalah peta tutupan lahan vegetasi, peta lahan gambut, dan data cuaca harian milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- 3 Wilayah kajian adalah lahan gambut di Pulau Sumatra dan Kalimantan.
- 4 Implementasi algoritme C5.0 menggunakan *package* C5.0 yang sudah tersedia pada perangkat lunak R.

TINJAUAN PUSTAKA

Kebakaran Hutan dan Lahan

Kebakaran hutan adalah suatu kejadian dimana api melalap bahan bakar bervegetasi yang terjadi di kawasan hutan yang menjalar secara bebas dan tidak terkendali. Berbeda dengan kebakaran hutan, kebakaran lahan adalah suatu kejadian dimana api melalap bahan bakar bervegetasi yang menjalar secara bebas dan tidak terkendali di kawasan bukan hutan.

Kejadian kebakaran hutan tidak lepas hubungannya dengan perilaku api yang dipengaruhi oleh segitiga api. Dalam segitiga api terdapat tiga unsur utama yakni bahan bakar, oksigen, sumber api (Syaufina 2008). Ketiga unsur utama ini membuat perilaku api berhubungan erat dengan perubahan unsur-unsur lingkungan. Unsur-unsur lingkungan tersebut antara lain bahan bakar, iklim atau cuaca, dan topografi (Syaufina 2008).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak Cipta IPB (Institut Pertanian Bogor)

Program Agricultural U



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Menurut Syaufina (2008), kadar air merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap perilaku api terutama dalam kecepatan pembakaran bahan bakar. Semakin tinggi kadar air bahan bakar, maka memerlukan panas yang besar untuk mengeluarkan air dari bahan bakar, maka kecepatan pembakaran dan flamabilitas (kemampuan terbakar) dari bahan bakar juga munurun. Kadar air dipengaruhi oleh curah hujan, kelembaban, dan suhu udara.

Radiasi matahari menjadi faktor adanya kebakaran hutan akibat adanya pemanasan bahan bakar. Semakin dekat dengan permukaan bahan bakar dengan sudut datang matahari, maka semakin besar pengaruh pemanasannya (Syaufina 2008). Suhu udara yang selalu berubah dan mempengaruhi suhu bahan bakar serta kemudahan untuk terbakar. Suhu yang meningkat akan menurunkan kelembaban udara dan meningkatkan proses pengeringan bahan bakar, sehingga kadar air bahan bakar munurun (Sukmawati 2008). Curah hujan juga berpengaruh terhadap kelembaban bahan bakar. Jika curah hujan tinggi maka kelembaban bahan bakar akan tinggi sehingga menyulitkan terjadinya kebakaran (Sukmawati 2008).

Titik Panas

Titik panas adalah daerah yang memiliki suhu permukaan relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya berdasarkan ambang batas suhu tertentu yang terpantau oleh satelit penginderaan jauh (LAPAN 2016). Titik panas digunakan di Indonesia maupun negara lain untuk memantau kebakaran hutan dan lahan. Data titik panas diperoleh dari data satelit. Satelit yang biasa digunakan untuk mendeteksi titik panas adalah satelit NOAA dan Terra/Aqua MODIS.

Satelit NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) melalui sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), merupakan salah satu satelit yang digunakan dalam mendeteksi kebakaran lahan. Tujuan satelit ini diluncurkan untuk memantau keadaan iklim dan cuaca. Sensor AVHRR mampu mendeteksi permukaan bumi dengan resolusi sebesar 1.21 km^2 serta dapat mengirimkan data minimal satu kali dalam sehari. Satelit NOAA mempunyai beberapa kelemahan, antara lain adalah satelit NOAA tidak dapat menembus awan, asap atau aerosol, dan resolusi spasial yang rendah. Satelit NOAA memiliki resolusi citra sekitar $1.1 \text{ km} \times 1.1 \text{ km}$. Dalam luasan 1.21 km^2 tersebut kita tidak dapat mengetahui lokasi kebakaran secara persis.

Satelit Terra dan Aqua adalah dua buah satelit bagian dari *Earth Observing System* (EOS) yang dilengkapi instrumen utama *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). MODIS tersebut memantau keseluruhan permukaan bumi setiap 1 atau 2 hari. Satelit Terra mengorbit di pagi hari sedangkan Satelit Aqua mengorbit di sore hari dengan arah yang sama, yaitu dari arah utara menuju selatan (Giglio *et al.* 2016). MODIS mempunyai cakupan lebih luas dari pada sensor AVHRR sebesar 2.33 km dengan resolusi spasial yang lebih baik.

Perbedaan satelit yang digunakan untuk deteksi titik panas membuat perbedaan hasil data titik panas, hal ini diakibatkan belum adanya standar internasional dalam pendekripsi titik panas (Anderson *et al.* 1999). Perbedaan *threshold*, algoritme yang digunakan antara stasiun cuaca, dan waktu pengamatan yang berbeda antar stasiun pengamat membuat perbedaan jumlah titik panas yang terpantau (Hidayat *et al.* 2003).

Data titik panas yang dipergunakan dalam penelitian ini bersumber dari LAPAN dan dianalisis oleh SiPongi. SiPongi merupakan sistem yang dikembangkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk dapat memonitor karhutla. SiPongi melakukan *update* secara *real time* mengenai data titik panas di halaman *website*-nya yaitu <http://sipongi.menlhk.go.id/home/main>. Data titik panas diunduh dari halaman *website* SiPongi berupa koordinat titik panas yang dilengkapi dengan berbagai informasi pendukung (satelit pengindera, waktu akuisisi data, tingkat kepercayaan (*confidence level*), batas administrasi).

Penelitian ini menggunakan nilai *confidence* titik panas sebagai kelas target. Nilai *confidence* dari titik panas merupakan suatu nilai hasil proses perhitungan yang menyatakan tingkat keyakinan suatu titik panas menjadi titik api. Menurut Giglio (2016), *confidence* titik panas adalah kombinasi rata-rata geometrik dari lima nilai *sub-confidence* dengan masing-masing *sub-confidence* berada dalam rentang nilai antara 0 (terendah) dan 1 (tertinggi). Setiap *sub-confidence* fokus pada satu aspek titik panas seperti temperatur, awan atau kabut, dan konsistensi air. Aspek-aspek tersebut berperan dalam menentukan suatu titik yang terdeteksi sebagai titik panas pada MODIS adalah benar suatu titik panas atau bukan. Semakin tinggi tingkat *confidence*, maka semakin tinggi pula potensi bahwa titik panas tersebut adalah benar kebakaran lahan atau hutan yang terjadi (LAPAN 2016). Pada dataset titik panas milik KLHK tingkat *confidence* merentang antara 0 (rendah) sampai 100 (tinggi). Penilaian *confidence* tersebut sedikit berbeda dengan penilaian menurut Giglio *et al.* (2016) yang memiliki rentang nilai antara 0 sampai 1, tetapi tetap memiliki makna yang sama. Giglio *et al.* (2015) dalam MODIS Active Fire Product User's Guide membagi tiga kelas tingkat *confidence* yaitu kelas rendah, nominal, dan tinggi. Selanjutnya dari kelas tersebut LAPAN (2016) memberi makna tingkat *confidence* titik panas (Tabel 1) berdasarkan tindakan yang perlu dilakukan yaitu *perlu diperhatikan, waspada, dan segera penaggulangan*.

Tabel 1 Makna tingkat *confidence* menurut LAPAN (2016)

Tingkat <i>confidence</i> (C)	Kelas	Tindakan
$0\% \leq C < 30\%$	Rendah	Perlu diperhatikan
$30\% \leq C < 80\%$	Nominal	Waspada
$80\% \leq C \leq 100\%$	Tinggi	Segera penaggulangan

Objek yang memiliki suhu tinggi tidak selalu adalah titik panas. Misal daerah industri dan pemukiman padat yang atapnya terbuat dari seng tertangkap oleh satelit EOS sebagai titik panas karena memiliki suhu lingkungan yang tinggi (Giglio *et al.* 2016). Analisis lebih jauh tentang titik panas dan pengecekan langsung di lapangan diperlukan untuk menentukan kebenaran kebakaran sesungguhnya atau bukan. Oleh sebab itu, KLHK melakukan patroli terpadu terhadap titik panas secara langsung di lapangan sejak tahun 2016 dengan melibatkan unsur Manggala Agni, TNI, POLRI, Pemerintah Daerah, Regu Pemadam Kebakaran perusahaan HTI, LSM, Masyarakat Peduli Api (MPA) dan media.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Pohon Keputusan

Pohon keputusan atau *decision tree* adalah sebuah struktur pohon, dimana setiap *node* pada pohon merepresentasikan atribut, setiap cabang merepresentasikan nilai atribut, dan *node* daun (*leaf*) merepresentasikan kelas tertentu (Han *et al.* 2012). Level *node* teratas dari sebuah pohon keputusan adalah *node* akar (*root*) yang biasanya berupa atribut yang paling memiliki pengaruh terbesar pada suatu kelas tertentu. Pada umumnya, pohon keputusan melakukan strategi pencarian secara *top-down* untuk solusinya. Pada proses mengklasifikasi data uji, nilai atribut akan diuji dengan cara membaca pohon dari *node* akar (*root*) sampai *node* akhir (daun) dan kemudian akan diprediksi kelas yang dimiliki oleh suatu data tersebut.

Algoritme klasifikasi pohon keputusan adalah sebagai berikut (Han *et al.* 2012):

- Input :
a. Partisi data, D, data latih yang telah ditentukan label kelasnya
b. *attribute_list*, himpunan yang terdiri dari kandidat atribut
c. *Attribute_selection_method*, prosedur untuk menentukan kriteria pemotongan yang partisi *tuple* data terbaik ke kelas masing-masing. Kriteria ini terdiri dari *splitting_attribute* dan kemungkinan *split_point* atau *splitting_subset*.
- Output : Pohon keputusan
- Metode :
- 1 Membuat simpul N;
 - 2 Jika semua tupel di D memiliki kelas yang sama yaitu C.
Maka simpul N sebagai simpul daun dan diberi label dengan kelas C.
 - 3 Jika *attribute list* kosong, maka
Jadikan simpul N sebagai simpul daun dan diberi label = nilai kelas terbanyak pada sampel
 - 4 Menerapkan *attribute selection method* (*D, attribute list*) untuk memperoleh atribut uji terbaik
 - 5 Beri label simpul N dengan atribut data uji
 - 6 Jika atribut bernilai diskret dan diperbolehkan untuk dipisah, maka
 $\text{Attribute list} \leftarrow \text{attribute list} - \text{atribut uji}$
 - 7 Untuk setiap nilai j dari atribut uji yang diketahui
 - Buat D_j menjadi kumpulan data *tuple* D untuk memenuhi hasil j
 - Jika D_j kosong maka
Tambahkan simpul daun yang diberi label = nilai kelas yang terbanyak pada D ke simpul N
 - Selainnya, tambah cabang baru di bawah dengan memanggil fungsi *generate decision tree* (D_j *attribute list*) ke simpul N;
 - 8 Kembalikan N;

Algoritme pohon keputusan memiliki tiga parameter input: D, *attribute_list*, dan *attribute_selection_method*. D merupakan satu set *tuple* pelatihan dan label kelas yang terkait. *Attribute list* menggambarkan suatu tupel. *Attribute selection method* menentukan prosedur untuk memilih atribut yang mengolah *tuple* menurut kelasnya. Prosedur ini membutuhkan ukuran atribut dengan *information gain* dan

gini indeks. Algoritme pohon keputusan dimulai dari simpul tunggal, N, yang merepresentasikan data latih di D.

Algoritme C5.0

Algoritme C5.0 adalah salah satu algoritme klasifikasi *data mining* khususnya diterapkan pada teknik *decision tree*. C5.0 merupakan perluasan dari algoritme C4.5 dan juga ID3 (Patil *et al.* 2012). Algoritme C5.0 lebih baik daripada C4.5 dalam hal kecepatan, efisiensi penggunaan memori, ukuran pohon keputusan, dan kesalahan klasifikasi (Rulequest 2012). Manfaat menggunakan pohon keputusan ini adalah mampu menghasilkan aturan-aturan (*rules*) yang mudah dipahami, dapat menggunakan atribut numerik maupun kategori, dan memberikan informasi yang paling penting diantara aturan-aturan yang dihasilkan. Aturan *classifier* menggunakan aturan IF (kondisi) – THEN (kesimpulan) untuk klasifikasi. IF (*left side*) merupakan bagian dari aturan yang diketahui sebagai aturan prasyarat. Sedangkan THEN (*right side*) merupakan bagian konsekuensi (Han *et al.* 2012).

Beberapa teknik dari algoritme C5.0 sebagai berikut (Rulequest 2012):

Boosting: proses yang melakukan beberapa kali percobaan dan akan menghasilkan beberapa aturan dan pohon keputusan. Beberapa aturan dan pohon keputusan tersebut dikombinasikan untuk meningkatkan akurasi prediksi.

Winnowing: langkah seleksi atribut yang dilakukan sebelum pemodelan. Sehingga menyebabkan pengklasifikasian lebih kecil dan menghasilkan akurasi prediksi yang lebih tinggi.

Algoritme C5.0 melakukan pemilihan atribut yang akan diproses menggunakan *information gain* paling besar. Atribut yang memiliki *information gain* terbesar akan dipilih sebagai *parent* atau untuk *node* selanjutnya. Persamaan *entropy* dapat dilihat pada Persamaan 1 (Han *et al.* 2012):

$$\text{Info}(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

Info (D) adalah nilai *entropy* dari sampel data D, m adalah jumlah kelas yang ada di atribut, sedangkan p_i adalah peluang dari kelas C_i atau rasio dari kelas. p_i ditentukan dengan $|C_i|/|D|$. Fungsi log menggunakan basis 2, karena informasi yang dikodekan dalam bit. Nilai *entropy* yang dihasilkan untuk mengklasifikasi *tuple* dari D berdasarkan partisi oleh A menggunakan formula pada Persamaan 2 (Han *et al.* 2012):

$$\text{Info}_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times \text{Info}(D_j) \quad (2)$$

Partisi *tuple* di D pada beberapa atribut A memiliki nilai v yang berbeda $\{a1, a2, \dots, av\}$ dari data latih. Atribut A digunakan untuk memisahkan D ke dalam v partisi atau sub himpunan $\{D1, D2, \dots, Dv\}$. $\frac{|D_j|}{|D|}$ merupakan bobot partisi ke-j. *Information gain* yang diperoleh pada atribut A menyatakan bahwa ada berapa banyak cabang yang akan diperoleh pada A. Atribut A dengan *information gain*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



tertinggi dipilih sebagai atribut pada *node*. Untuk mendapatkan nilai *information gain*, dapat menggunakan Persamaan 3 (Han *et al.* 2012).

$$Gain(A) = \text{Info}(D) - \text{Info}_A(D) \quad (3)$$

Gain (A) menyatakan berapa banyak cabang yang akan diperoleh pada A. Atribut A dengan *information gain* tertinggi, dipilih sebagai atribut “pemecah” pada *node* (Han *et al.* 2012). Contoh perhitungan *information gain* ada pada Lampiran 1.

Penelitian algoritme C5.0 terkait analisis data titik panas telah banyak dilakukan. Salah satunya dilakukan oleh Aprita (2017) untuk memprediksi kemunculan titik panas pada lahan gambut berdasarkan tipe lahan gambut dan kedalaman lahan gambut menggunakan algoritme C5.0. Data yang digunakan pada penelitian tersebut adalah data titik panas di Pulau Sumatra dan Kalimantan pada tahun 2001-2014. Pada penelitian tersebut data titik panas yang digunakan hanya titik panas yang memiliki *confidence* di atas 70%. Nilai akurasi tertinggi dari model berbasis pohon keputusan pada dataset Sumatra tahun 2001 adalah 88.98% dan model berbasis aturan sebesar 89.93%. Penelitian lainnya terkait algoritme C5.0 terkait titik panas telah dilakukan oleh Siknun dan Sitanggang (2016). Penelitian tersebut membangun aplikasi berbasis web dengan *framework* Shiny untuk klasifikasi ke dalam kelas titik panas dan bukan titik panas menggunakan algoritme C5.0 pada data yang dimasukkan ke dalam aplikasi. Keakuratan model klasifikasi untuk memprediksi kejadian titik panas adalah 72.72% pada model pohon keputusan dan 73.51% pada model berbasis aturan. Berdasarkan pemaparan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa klasifikasi menggunakan algoritme C5.0 sudah berhasil untuk mengklasifikasikan titik panas.

METODE

Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber, dijelaskan pada Tabel 2. Data titik panas yang diperoleh dari *dataset* titik panas milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dapat dilihat pada Tabel 3. Data titik panas tersebut memiliki atribut *confidence* titik panas yang akan dijadikan kelas target. Nilai *confidence* titik panas merentang antara 0 sampai 100.

Data tambahan lainnya yang digunakan untuk menentukan karakteristik tingkat *confidence* adalah data cuaca harian yang tercatat oleh stasiun cuaca BMKG, dapat dilihat pada Tabel 4. Karena data cuaca harian tidak memiliki data spasial berupa *longitude* dan *latitude* oleh karena itu digunakan data stasiun cuaca milik BMKG, dapat dilihat pada Tabel 5. Data stasiun cuaca milik BMKG memuat informasi lokasi spasial stasiun BMKG yang ada pada setiap provinsi di Indonesia

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 2 Data Penelitian

No	Data	Format	Periode	Sumber
1	Titik panas	CSV	Tahun 2016	Titik panas milik KLHK
2	Cuaca Harian	CSV	Tahun 2016	BMKG (http://dataonline.bmkg.go.id)
3	Stasiun cuaca	CSV	Tahun 2016	BMKG (http://dataonline.bmkg.go.id)
4	Peta lahan gambut	SHP	Tahun 2002	<i>Wetlands International Indonesia</i>
5	Peta tutupan lahan vegetasi skala 1:50 000	SHP	Tahun 2017	Badan Informasi Geospasial (http://tanahair.indonesia.go.id)
	Patroli kebakaran hutan	CSV	Tahun 2016	Laporan harian dari KLHK

Tabel 3 Atribut data titik panas milik KLHK

No	Nama Atribut	Tipe
1	<i>Latitude</i>	<i>Numeric</i>
2	<i>Longitude</i>	<i>Numeric</i>
3	<i>Satellite</i>	<i>Character</i>
4	<i>Acq_date</i>	<i>Character</i>
5	Provinsi	<i>Character</i>
6	Pulau	<i>Character</i>
7	<i>Confidence</i>	<i>Bigint</i>

Tabel 4 Atribut data cuaca dari BMKG

No	Nama Atribut	Tipe
1	Nama Stasiun	<i>Character</i>
2	Tanggal	<i>Character</i>
3	Suhu Minimum (°C)	<i>Numeric</i>
4	Suhu Maksimum (°C)	<i>Numeric</i>
5	Suhu Rata-rata (°C)	<i>Numeric</i>
6	Kelembaban Rata-rata (%)	<i>Bigint</i>
7	Curah Hujan (mm)	<i>Numeric</i>
8	Lama Penyinaran (jam)	<i>Numeric</i>
9	Kecepatan Angin Terbesar (knot)	<i>Bigint</i>

Tabel 5 Atribut data stasiun cuaca dari BMKG

No	Nama Atribut	Tipe
1	Nama Stasiun	<i>Character</i>
2	Jenis Stasiun	<i>Character</i>
3	Provinsi	<i>Character</i>
4	Kabupaten	<i>Character</i>
5	Lintang	<i>Numeric</i>
6	Bujur	<i>Numeric</i>

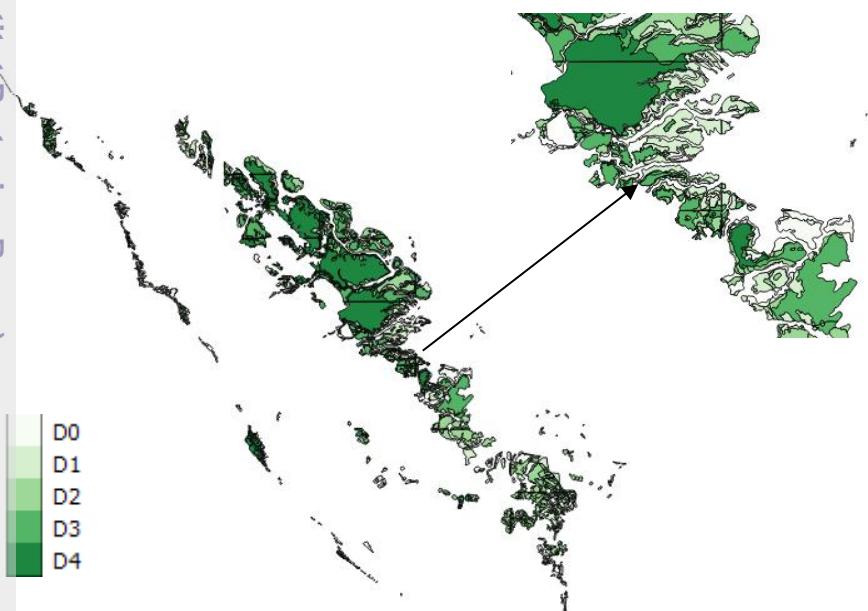
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Peta lahan gambut dan peta tutupan lahan vegetasi juga digunakan sebagai data tambahan untuk menentukan karakteristik tingkat *confidence* pada penelitian ini. Peta lahan gambut dan peta tutupan lahan dinyatakan dengan format SHP. Peta gambut di Pulau Sumatra dapat dilihat pada Gambar 1 dan Pulau Kalimantan pada Gambar 2. Peta tutupan lahan vegetasi di Pulau Kalimantan dapat dilihat pada Gambar 3.

Lahan gambut mempunyai tingkat kedalaman gambut. Kedalaman gambut dikategorikan menjadi D0, D1, D2, D3, dan D4. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kedalaman lahan gambut sebagai berikut (Subagjo *et al.* 2005):

- 1 D0 merupakan lahan gambut yang kedalamannya termasuk kriteria sangat dangkal atau sangat tipis yang mempunyai kedalamannya hanya mencapai < 50 cm.
- 2 D1 merupakan kriteria lahan gambut dangkal yang kedalamannya mencapai 50 cm hingga 100 cm
- 3 D2 kriteria lahan gambut cukup dalam yang kedalamannya mencapai 100 hingga 200 cm.
- 4 D3 termasuk kriteria lahan gambut dalam yang mempunyai kedalamannya mencapai 200 cm hingga 400 cm.
- 5 D4 merupakan kriteria lahan gambut sangat dalam atau sangat tebal kedalamannya mencapai > 400 cm



Gambar 1 Peta gambut Pulau Sumatra

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

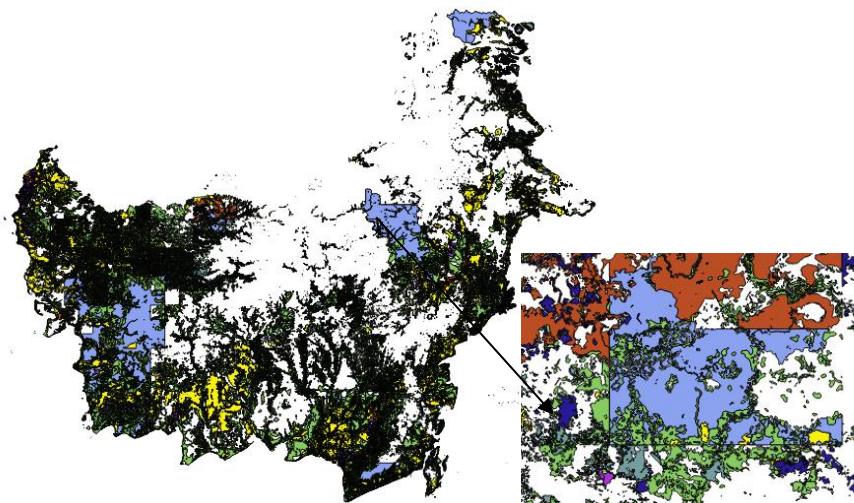
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 2 Peta gambut Pulau Kalimantan



Gambar 3 Peta tutupan lahan vegetasi Pulau Kalimantan

Titik panas diturunkan dari data satelit dan digunakan sebagai indikator kebakaran hutan dan lahan, namun tidak semua titik panas merupakan lokasi kebakaran yang sesungguhnya. Sehingga diperlukan data tambahan untuk verifikasi lokasi kebakaran yang sesungguhnya. Data yang digunakan untuk keperluan verifikasi adalah data patroli kebakaran hutan tahun 2016 dengan periode Februari hingga Desember. Sumber data diperoleh dari KLHK dengan format Microsoft Word yang kemudian diolah pada penelitian Kurniawan (2017) menjadi format CSV. Beberapa contoh atribut yang ada pada data patroli dapat dilihat pada Tabel 6.



Tabel 6 Atribut data patroli dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)

No	Nama Atribut	Keterangan	Tipe
1	Tgl_keg_patroli	Tanggal Kegiatan Patroli	Date
2	Provinsi	Provinsi	Character
3	Daops	Daerah Operasi	Character
4	Latitude	Latitude	Numeric
5	Longitude	Longitude	Numeric
6	Suhu	Suhu (°C)	Numeric
7	Kelembaban	Kelembaban (%)	Numeric
8	Curah_hujan	Curah Hujan	Character
9	Kecepatan_angin	Kecepatan Angin (km/jam)	Numeric
10	Kondisi_bahan_bakar	Kondisi Bahan Bakar	Character
11	Jenis_tanah	Jenis Tanah	Character
12	Kedalaman	Kedalaman (m)	Numeric
13	Jenis_vegetasi	Jenis Vegetasi	Character
14	Potensi_kebakaran	Potensi Kebakaran	Character
15	Luas_tanah	Luas Tanah (m ²)	Numeric
16	Kondisi_lahan	Kondisi Lahan	Character
17	Confidence	Confidence (%)	Numeric

Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini secara garis besar terdiri pembuatan *dataset*, praproses, penentuan label kelas, pembagian *dataset*, pembuatan model klasifikasi menggunakan algoritme C5.0, evaluasi model klasifikasi, penentuan karakteristik tingkat *confidence* titik panas, dan verifikasi tingkat *confidence*. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

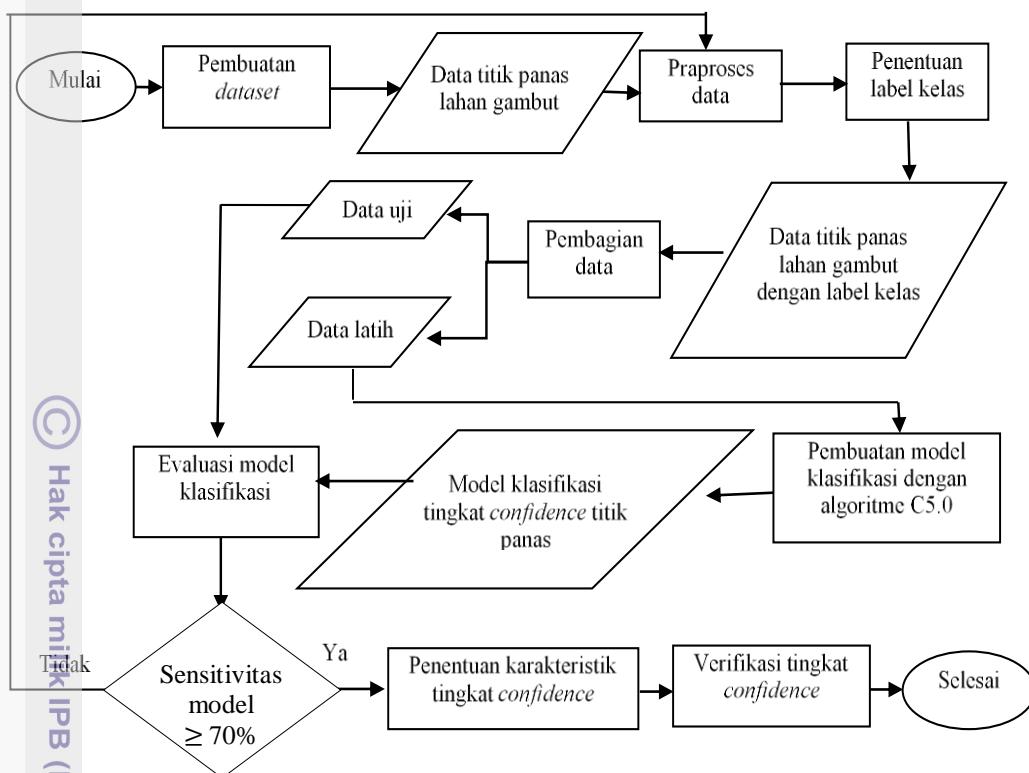
Pembentukan Dataset

Data yang akan dibentuk adalah *dataset* titik panas di lahan gambut, khususnya wilayah Kalimantan dan Sumatra. Tujuan dari pembentukan *dataset* adalah untuk mendapatkan kelas prediktor dan kelas target dari berbagai sumber data yang ada. *Dataset* yang akan dibentuk berasal dari 4 *dataset*, yaitu data titik panas, data cuaca harian, data peta lahan gambut, dan peta tutupan lahan vegetasi. Masing-masing *dataset* tersebut akan dilakukan seleksi atribut untuk mendapatkan atribut yang berhubungan dengan kejadian kebakaran lahan gambut. Setelah mendapatkan atribut-atribut yang dibutuhkan, setiap atribut digabungkan menjadi satu *dataset* baru.

Praproses

Praproses terdiri atas beberapa tahapan yaitu seleksi atribut, pengisian nilai *missing value*, penggabungan data, dan penyeimbangan distribusi data untuk setiap kelas. Seleksi atribut dilakukan untuk mendapatkan data yang relevan. Pengisian nilai *missing value* dilakukan untuk mengisi data yang tidak tersedia. Penggabungan data dilakukan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan bentuk yang digunakan. Penyeimbangan distribusi data dilakukan agar diperoleh sampel yang representatif untuk setiap kelas.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 4 Tahapan penelitian

Penentuan label kelas

Kelas target pada data titik panas adalah nilai *confidence* titik panas. *Confidence* titik panas adalah data numerik yang akan ditransformasi menjadi data kategorik untuk mendapatkan label kelas. Tabel 7 merupakan kategori nilai *confidence* titik panas. *Confidence* titik panas terbagi menjadi 3 yaitu *perlu diperhatikan*, *waspada*, dan *segera penanggulangan*. Pembagian kelas tersebut disuaikan dengan pembagian kelas yang dilakukan LAPAN (2016).

Tabel 7 Tingkat *confidence* menurut LAPAN (2016)

<i>Confidence</i> (C)	Tindakan
$0\% \leq C < 30\%$	Perlu diperhatikan
$30\% \leq C < 80\%$	Waspada
$80\% \leq C \leq 100\%$	Segeara penaggulangan

Pembagian Dataset

Pembagian data latih dan data uji pada *dataset* menggunakan *K-fold cross validation*. Pembagian data dengan *K-fold cross validation* akan membagi data menjadi K kelompok dan akan mengulang percobaan sebanyak K-kali. Penelitian ini menggunakan $K = 10$ dengan proporsi 90% data latih dan 10% data uji. $K = 10$ merupakan pembagian himpunan yang baik dalam penentuan nilai K (Han *et al.* 2012). Proses pengambilan sub-data uji dilakukan dengan mengambil sub-data uji pada kelas *perlu diperhatikan* sebanyak 10%, kelas *waspada* 10%, dan kelas *segera penanggulangan* 10%. Setelah diperoleh sub-data uji dari ketiga jenis kelas, ketiga sub-data uji tersebut disatukan dan dijadikan data uji. Sisa semua dari data uji tersebut dijadikan data latih. Perlakuan tersebut dilakukan untuk semua data secara

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



14

bergiliran. Semua data diperlakukan adil sehingga memiliki kesempatan yang sama menjadi data uji dan data latih.

Pembuatan Model Klasifikasi Menggunakan Algoritme C5.0

Tahap ini membangun model klasifikasi menggunakan algoritme C5.0 dengan menggunakan data latih yang telah dibentuk. Algoritme C5.0 bekerja untuk menghasilkan aturan-aturan klasifikasi dalam bentuk pohon keputusan (*decision tree*) dan berbasis aturan (*rules*). Algoritme ini menggunakan ukuran *information gain* dalam membuat pohon keputusan. Pembentukan model klasifikasi tersebut dilakukan menggunakan *package* yang tersedia pada aplikasi R yaitu C5.0. Fungsi yang digunakan adalah fungsi c5.0 dengan menyertakan data latih yang digunakan.

Evaluasi Model Klasifikasi

Evaluasi bertujuan untuk menentukan kinerja suatu model klasifikasi. Untuk mengukur seberapa baik hasil pengujian model ini digunakan metode *confusion matrix*. *Confusion matrix* merupakan sebuah tabel yang terdiri dari atas banyaknya baris data uji yang diprediksi benar dan tidak benar. Bentuk *confusion matrix* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 *Confusion matrix* (Witten et. al 2011)

Kelas hasil aktual	Kelas hasil prediksi	
	Ya	Tidak
Ya	Benar positif (TP)	Salah negatif (FN)
Tidak	Salah positif (FP)	Benar negatif (TN)

Confusion matrix digunakan untuk mencari akurasi dan sensitivitas. Akurasi merupakan persentase seberapa banyak model bisa melabelkan kelas sesuai dengan kelas aktual pada data uji. Persentase tersebut merupakan perwakilan rataan nilai keberhasilan model dalam melabelkan kelas *dataset* tersebut. Sensitivitas adalah persentase kemampuan model untuk mengenal kelas *confidence* titik panas. Berikut rumus nilai akurasi yang dapat dilihat pada Persamaan 4 dan rumus sensitivitas pada Persamaan 5 (Han et.al. 2012):

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \times 100 \% \quad (4)$$

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100 \% \quad (5)$$

Pada tahap ini akan dilihat sensitivitas tiap kelas dari model yang memiliki akurasi terbesar. Jika sensitivitas tiap kelas lebih $\geq 70\%$ artinya model sudah mengenali tiap kelas dengan baik, sehingga dapat dilanjutkan ketahapan penentuan karakteristik tingkat *confidence* titik panas. Sebaliknya, jika sensitivitas $< 70\%$ maka kembali ke tahap praproses untuk dianalisis penyebab sensitivitas yang kecil.

Penentuan Karakteristik Tingkat *Confidence* Titik Panas

Pada tahap ini dilakukan analisis untuk *confidence* titik panas baru dengan kategori segera *penanggulangan* berdasarkan model klasifikasi yang terbentuk.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Penentuan karakteristik tingkat *confidence* titik panas dianalisis dengan menganalisis aturan-aturan (*rules*) yang terbentuk dari model klasifikasi. Kelas prediksi untuk menentukan karakteristik tingkat *confidence* titik panas dilihat berdasarkan kedalaman gambut (cm), tutupan lahan vegetasi, suhu minimum (°C), suhu rata-rata (°C), suhu maksimum (°C), kelembaban (%), kecepatan angin terbesar (knot), curah hujan (mm), dan lama penyinaran (jam).

Verifikasi Tingkat *Confidence*

Tahap terakhir adalah verifikasi titik panas dengan data patroli karhutla yang diperoleh dari KLHK. Proses verifikasi dilakukan dengan melihat kesesuaian lokasi titik panas hasil klasifikasi dengan lokasi *real* kebakaran dari data patroli karhutla tahun 2016.

Perangkat Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

- 1 Perangkat keras berupa komputer dengan spesifikasi:
 - RAM 4 GB.
 - Processor Intel Core i5.
 - 1 TB HDD.
- 2 Perangkat lunak yang digunakan:
 - Sistem operasi Windows 10 64-bit.
 - Microsoft Excel untuk pengolahan data.
 - RStudio versi 0.98.101 dengan package C50 untuk klasifikasi data dan mengolah data.
 - PostgreSQL 9.4 dengan ekstensi PostGIS untuk mengelola data spasial.
 - Quantum GIS 2.18.13 untuk melihat plot data spasial dan analisis data spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan Dataset

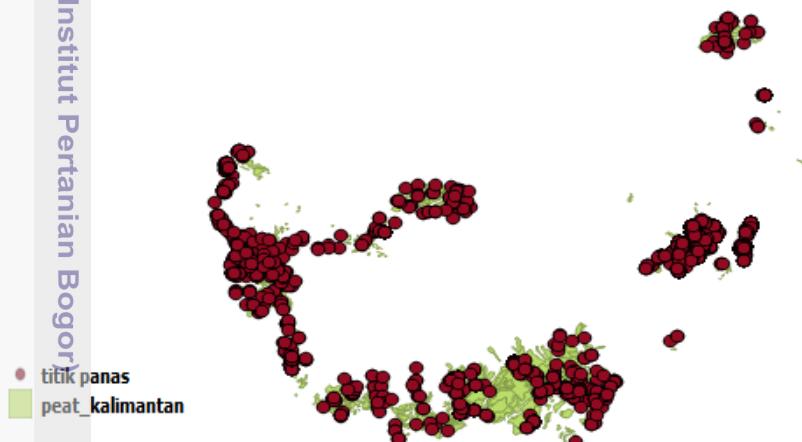
Dataset yang akan dibentuk terdiri atas 4 *dataset*, dimana masing-masing *dataset* memiliki tahapan yang berbeda. Empat *dataset* tersebut adalah data titik panas, data cuaca harian, data peta lahan gambut, dan data tutupan lahan vegetasi. Keempat *dataset* tersebut nantinya akan diseleksi atribut dan atribut yang terseleksi digunakan untuk membentuk satu *dataset* baru. *Dataset* baru tersebut bernama dataset_kalimantan untuk data titik panas Pulau Kalimantan dan dataset_sumatra untuk data titik panas Pulau Sumatra. Dataset_kalimantan dan dataset_sumatra masing-masing terdiri atas atribut *longitude*, *latitude*, *confidence*, kedalaman gambut (kedalaman_gambut), tutupan lahan (tutupan_lahan), suhu minimum (suhu_min), suhu rata-rata (suhu_avg), suhu maksimum (suhu_maks), kelembaban (kelembaban), kecepatan angin (kecepatan_angin), curah hujan (curah_hujan), dan lama penyinaran (lama_penyinaran). Atribut-atribut tersebut merupakan hasil

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

seleksi atribut dari keempat *dataset* sebelumnya. Seleksi atribut didasarkan berdasarkan atribut yang berhubungan dengan kejadian kebakaran lahan gambut.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya masing-masing *dataset* memiliki tahapan yang berbeda, untuk pembentukan *dataset* lahan gambut Kalimantan dan Sumatra dilakukan dengan pemindahan data spasial ke DBMS PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. *Dataset* lahan gambut akan digunakan untuk menyeleksi data titik panas yang hanya ada di lahan gambut dan mendapatkan informasi ketebalan gambut.

Pembentukan *dataset* titik panas dilakukan dengan menyeleksi data titik panas di Kalimantan tahun 2016 dan Sumatra tahun 2016 yang berada tepat di atas lahan gambut. Seleksi data dilakukan pada DBMS PostgreSQL dengan kueri spasial dengan operasi *ST_WITHIN* antara data titik panas dan peta lahan gambut yang sudah dimasukan ke dalam DBMS PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. Jumlah titik panas di Kalimantan tahun 2016 sebelumnya adalah 1 5901 titik. Setelah seleksi data titik panas, jumlah titik panas adalah 1 961 titik. Jumlah titik panas di Sumatra tahun 2016 sebelumnya adalah 11 957 titik. Setelah seleksi data titik panas, jumlah titik panas Sumatra adalah 3 796 titik. Atribut yang akan digunakan pada data titik panas adalah *longitude*, *latitude*, dan *confidence*. Atribut *confidence* akan digunakan sebagai kelas target. Contoh seleksi data titik panas pada lahan gambut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Contoh hasil seleksi titik panas pada lahan gambut Kalimantan

Pembentukan *dataset* cuaca harian dilakukan dengan menggabungkan data cuaca harian dan data stasiun cuaca. Tujuannya adalah agar data cuaca harian mendapatkan atribut spasial berupa *longitude* dan *latitude* yang berasal dari data stasiun cuaca. Pembentukan *dataset* cuaca harian dilakukan dengan menggabungkan data cuaca harian dan data stasiun cuaca menggunakan aplikasi R. Data yang sudah digabungkan dimasukan ke dalam DBMS PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. Atribut yang akan digunakan pada data cuaca harian adalah atribut suhu minimum ($^{\circ}\text{C}$), suhu rata-rata ($^{\circ}\text{C}$), suhu maksimum ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%), kecepatan angin (knot), curah hujan (mm), dan lama penyinaran (jam). Berikut tahapan pembentukan *dataset* cuaca harian:

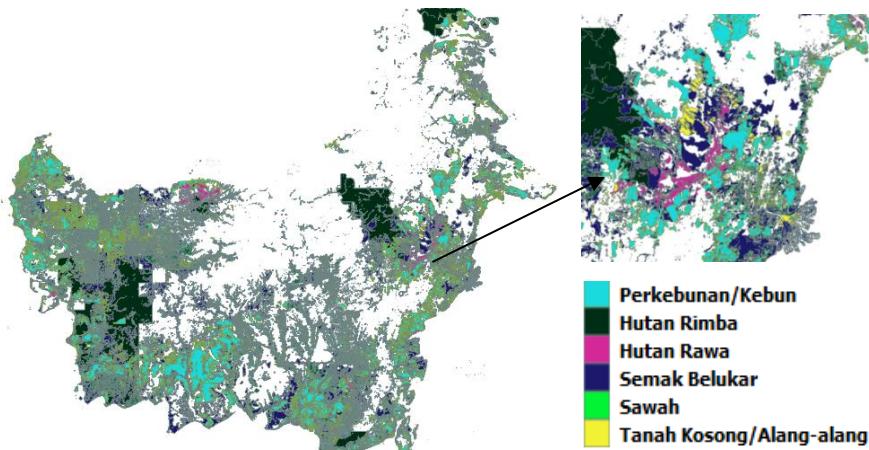
- Mengunduh data cuaca harian dan data stasiun cuaca dari website BMKG (<http://dataonline.bmkg.go.id>)

- 2 Menggabungkan data cuaca harian dan data spasial (*longitude*, *latitude*) dari data stasiun cuaca. Contoh kueri yang digunakan untuk langkah tersebut, yaitu:

```
BMKG_RIAU <- merge(x = CUACA_RIAU, y =
  laporan_metadata_stasiun[ , c("Nama Stasiun",
  "Lintang", "Bujur")], by = "Nama Stasiun", all.x=TRUE)
```

- 3 Memasukkan data BMKG ke PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS.

Pembentukan *dataset* tutuhan lahan vegetasi dilakukan menggunakan operasi spasial pada data tutuhan lahan menggunakan *tool Merge* pada Quantum GIS. Data tutuhan lahan sebelumnya terdiri atas 9 peta vegetasi yaitu peta vegetasi kebun, vegetasi ladang, vegetasi sawah, vegetasi tanam campur, vegetasi alang-alang, vegetasi hutan kering, vegetasi hutan basah, vegetasi semak belukar, dan vegetasi rawa. Setelah digabungkan, peta dimasukan ke dalam DBMS PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. Tujuan pembentukan *dataset* tutuhan lahan adalah mendapatkan atribut jenis tutuhan lahan yang akan digunakan sebagai kelas prediktor. Contoh hasil *merge* peta tutuhan lahan vegetasi Kalimantan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil *merge* tutuhan lahan vegetasi pulau Kalimantan

Tahap 1

Praproses Data

Tahap pertama dalam praproses data adalah praproses dataset_kalimantan dan dataset_sumatra menggunakan data cuaca harian. *Dataset* cuaca harian terdiri atas 11 atribut yaitu *latitude*, *longitude*, nama stasiun cuaca (nama_stasiun), tanggal, suhu minimum (suhu_min), suhu rata-rata (suhu_avg), suhu maksimum (suhu_maks), kelembaban, kecepatan angin (kecepatan_angin), curah hujan (curah_hujan), dan lama penyinaran (lama_penyinaran). Atribut-atribut tersebut memiliki nilai 9999 dan 8888. Nilai tersebut artinya tidak tercatat oleh BMKG atau *missing value*. Tabel 9 menunjukkan persentase *missing value* pada data cuaca harian milik BMKG.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 9 Persentase *missing value* pada data cuaca harian Kalimantan dan Sumatra

Atribut	Percentase <i>missing value</i>	
	Kalimantan	Sumatra
<i>Longitude</i>	0%	0%
<i>Latitude</i>	0%	0%
Nama Stasiun	0%	0%
Suhu minimum	6%	8%
Suhu rata-rata	6%	5%
Suhu maksimum	7%	5%
Kelembaban	6%	2%
Kecepatan angin	1%	5%
Curah hujan	25%	32%
Lama penirinan	12%	11%

Dataset cuaca harian banyak mengandung *missing value*. Oleh karena itu, dilakukan proses pengisian *missing value* terlebih dahulu sebelum digabungkan ke dalam dataset_kalimantan dan dataset_sumatra. Pengisian *missing value* menggunakan nilai rata-rata tiap atribut yang memiliki tanggal yang sama di provinsi yang sama.

Setelah data cuaca harian tidak memiliki nilai *missing value*, tahapan selanjutnya adalah mengisi atribut suhu minimum, suhu rata-rata, suhu maksimum, kelembaban, kecepatan angin, curah hujan, dan lama penirinan pada dataset_kalimantan menggunakan dataset cuaca harian. Pengisian atribut tersebut dilakukan berdasarkan tanggal yang sama dan memiliki lokasi terdekat antara dataset_kalimantan dan dataset_sumatra dengan dataset cuaca harian. Jarak antar lokasi dataset_kalimantan atau dataset_sumatra dengan lokasi stasiun cuaca dihitung menggunakan kueri spasial dengan operasi *ST_Distance*, dimana dataset_kalimantan atau dataset_sumatra berada pada tanggal yang sama dengan data cuaca harian. Agar bisa direpresentasikan ke dalam kilometer maka jarak tersebut dikonversi menjadi satuan kilometer dengan cara mengalikan dengan angka 111.322. Hasil dari kueri untuk mendapatkan jarak antara dataset_kalimantan dan data cuaca harian dapat dilihat pada Tabel 10. Berikut contoh kueri yang digunakan untuk mendapatkan jarak antara dataset_kalimantan dan data cuaca harian pada provinsi Kalimantan Barat, dimana gid_lapan adalah *primary key* untuk data titik panas dan gid_bmkg adalah *primary key* untuk data cuaca harian:

```

SELECT d.gid AS gid_lapan, b.gid AS gid_bmkg, b.suhu_minim
ST_Distance (d.geom, b.geom)*111.322 AS jarak, d.acq_date,
b.tanggal
INTO all_stasiun_kalbar
FROM dataset_kalimantan AS d, bmkg_kalbar AS b WHERE
d.acq_date = b.tanggal AND provinsi = 'KALIMANTAN BARAT';

```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 10 Beberapa contoh hasil dari perhitungan jarak antara lokasi titik panas dengan lokasi stasiun cuaca harian

Gid Lapan	Gid cuaca harian	Suhu minimum (°C)	Jarak (km)	Tanggal pada dataset Kalimantan	Tanggal pada data cuaca harian
35	1420	28	1.9224	18/08/2016	18/08/2016
35	34	26	1.3893	18/08/2016	18/08/2016

Setelah mendapatkan jarak antara lokasi dataset_kalimantan dengan data cuaca harian, maka kita bisa dapat mendapatkan jarak terdekat. Berikut contoh kueri yang digunakan untuk mendapatkan lokasi terdekat di provinsi Kalimantan Barat:

```
Select *
INTO terdekat_kalbar
FROM all_stasiun_kalbar
WHERE jarak= (select min(jarak) FROM all_stasiun_kalbar as
sub WHERE sub.gid_lapan = all_stasiun_kalbar.gid_lapan);
```

Tahap kedua dalam praproses adalah praproses dataset_kalimantan dan dataset_sumatra menggunakan data peta tutupan lahan. Atribut yang akan diisi adalah atribut tutupan_lahan menggunakan kueri spasial dengan operasi *ST_Within*. Berikut contoh kueri yang digunakan untuk mendapatkan data tutupan lahan pada dataset_kalimantan:

```
UPDATE dataset_kalimantan AS a
SET tutupan_lahan = b.remark
FROM vegetasi_50k AS b
WHERE st_within(a.geom, b.geom) AND tutupan_lahan isnull
```

Tahap ketiga dalam praproses adalah praproses dataset_kalimantan dan dataset_sumatra menggunakan data peta lahan gambut. Atribut yang akan diisi adalah atribut kedalaman_gambut. Atribut tersebut diisi menggunakan menggunakan kueri spasial *ST_Within* pada PostgreSQL. Berikut kueri yang digunakan untuk mendapatkan data kedalaman gambut:

```
UPDATE dataset_kalimantan AS a
SET kedalaman_gambut = b.depth FROM peat_kalimantan AS b
WHERE st_within(a.geom, b.geom)
```

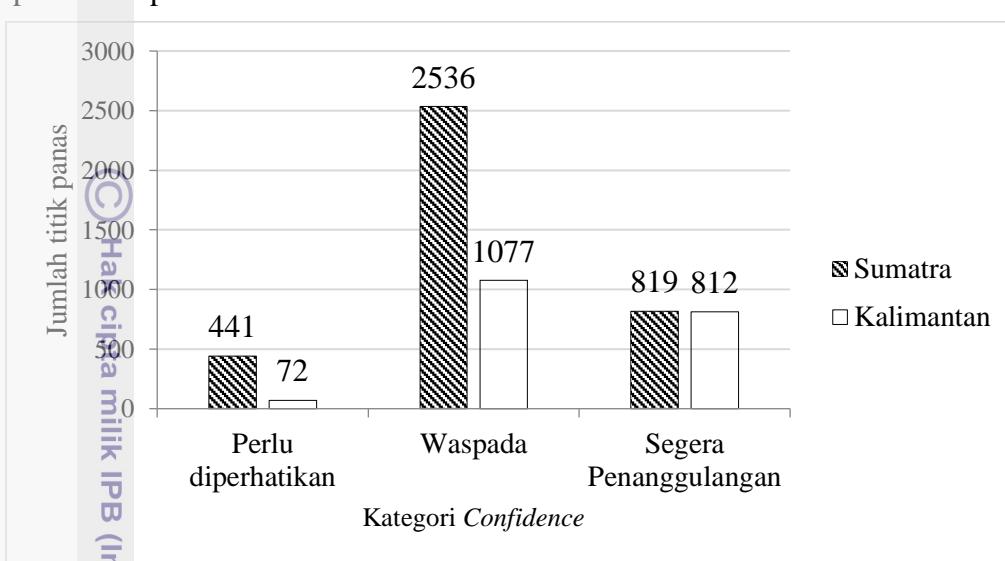
Penentuan Label Kelas

Tahapan penentuan label kelas dilakukan dengan cara membuat atribut bernama tindakan. Atribut tindakan adalah kelas target pada dataset_kalimantan dan dataset_sumatra. Atribut tindakan berisi data kategorik hasil transformasi data numerik atribut *confidence* titik panas. Atribut *confidence* titik panas merentang antara 0 sampai 100. Transformasi dilakukan berdasarkan rentang *confidence* menurut LAPAN (2016). Bila *confidence* titik panas berada pada rentang 0 hingga 29 maka masuk ke dalam kelas *perlu diperhatikan*. Bila *confidence* titik panas berada pada rentang 30 hingga 79 maka masuk ke dalam kelas *waspada*. Bila *confidence* titik panas berada pada rentang 80 hingga 100 maka masuk ke dalam kelas *segera penanggulangan*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 7 Distribusi dataset Sumatra dan Kalimantan untuk masing-masing kelas.

Pembagian Data

Pembagian data dilakukan dengan menggunakan metode *k-fold cross validation* dengan K=10 pada R dengan *library plyr*. Tahapan awal dilakukan penggabungan data yang memiliki kelas yang sama ke dalam satu *data frame*. Penelitian ini data dibagi ke 3 *data frame* sesuai dengan jumlah kelas yang ada. Setelah itu ketiga *data frame* tersebut dilakukan pengacakan dan diberi label indeks dari satu sampai dengan sepuluh pada setiap baris data. Tujuannya agar setiap *fold* memiliki proporsi data yang seimbang.

Tahap berikutnya adalah membagi ketiga *data frame* tersebut menjadi data latih dan data uji. Untuk penggunaan data latih dan data uji secara bergantian, maka diperlukan perulangan sebanyak 10 kali. Setiap perulangan akan mengambil kurang lebih 10% baris dari setiap kelas yang digabungkan menjadi satu set data uji. Sisa dari masing-masing ketiga *data frame* tersebut digabungkan menjadi data latih. Data latih dan data uji tersebut dilatih menggunakan pohon keputusan C5.0 hingga diperoleh suatu model pada setiap perulangannya. Pembagian data latih dan data uji Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra dapat dilihat pada Tabel 11. Data wilayah Kalimantan berjumlah 1961 baris, dimana tiap *fold* memiliki kurang lebih 1765 data latih dan kurang lebih 196 data uji. Data wilayah Sumatra berjumlah 3 796 baris, dimana tiap *fold* memiliki kurang lebih 3 417 data latih dan kurang lebih 379 data uji.

Tabel 11 Pembagian data latih dan data uji di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra

Fold ke-	Sumatra		Kalimantan	
	Jumlah data latih	Jumlah data uji	Jumlah data latih	Jumlah data uji
1	3415	381	1763	198
	3416	380	1765	196
	3417	379	1766	195
	3416	380	1765	196
	3417	379	1765	196
	3417	379	1766	195
	3417	379	1765	196
	3416	380	1766	195
	3417	379	1765	196
	3416	380	1763	198

Pembuatan Model Klasifikasi Menggunakan Algoritme C5.0

Model klasifikasi dibuat menggunakan algoritme pohon keputusan C5.0 dengan menggunakan *library* C5.0 untuk pemodelan, dan *Caret* untuk mendapatkan *confusion matrix* dan *recall*. Pemodelan dilakukan seiring dilakukannya pembagian data sebanyak 10 *fold*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan fungsi C5.0 dengan menyertakan tabel data latih dan data uji. Fungsi tersebut dijalankan sebanyak 10 kali sesuai jumlah *fold* pada penelitian ini. Kode program R yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Evaluasi Model Klasifikasi

Hasil klasifikasi menghasilkan 10 model, masing-masing model dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengklasifikasikan kelas data uji. Kelas yang diprediksi dihitung persentasenya dari data yang sesuai dengan kelas *real* data uji. Prediksi yang dilakukan menggunakan fungsi *Predict* pada *library* C5.0. Perhitungan persentase tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix*. *Confusion matrix* yang akan dianalisis adalah model klasifikasi yang memiliki akurasi tertinggi. Akurasi tertinggi model klasifikasi berbasis aturan pada dataset_kalimanta berada pada *fold* ke-3 yaitu 82.05%. Sedangkan akurasi tertinggi model klasifikasi berbasis aturan pada dataset_sumatra berada pada *fold* ke-7 yaitu 74.67%. Akurasi masing-masing *fold* dapat dilihat pada Tabel 12.

Akurasi rata-rata yang diperoleh dari 10 model pada dataset_kalimantan adalah 78.12% untuk model berbasis pohon keputusan dan 78.12% untuk model berbasis aturan, dengan akurasi tertinggi ada pada *fold* ke ketiga. Sedangkan akurasi rata-rata yang diperoleh dari 10 model pada dataset_sumatra adalah 70.65% untuk model berbasis pohon dan 71.10% untuk model berbasis aturan dengan akurasi tertinggi ada pada *fold* ketujuh. Tabel 13 dan Tabel 14 menunjukkan *confusion matrix* data uji pada model klasifikasi berbasis aturan yang memiliki akurasi tertinggi untuk masing-masing wilayah. Lampiran 3 menunjukkan *confusion matrix* data uji ke 10 *fold*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 12 Akurasi model pada masing-masing *fold* (%)

Fold ke-	Akurasi model untuk <i>dataset</i> Sumatra		Akurasi model untuk <i>dataset</i> Kalimantan	
	Model berbasis aturan	Model berbasis pohon	Model berbasis aturan	Model berbasis pohon
1	72.70	72.70	77.77	79.29
2	72.36	71.31	75.51	74.48
3	71.50	72.55	82.05	82.05
4	69.21	69.21	75.51	75.51
5	69.12	68.33	77.04	76.02
6	70.97	71.50	77.94	77.43
7	74.67	72.82	81.12	81.63
	70.52	72.63	77.94	78.46
	70.71	71.24	79.59	80.10
	65.26	68.68	76.76	76.26
Akurasi rata-rata	71.10	70.65	78.12	78.12

Tabel 13 *Confusion matrix* untuk model pada *fold*-3 untuk wilayah Kalimantan

Kelas hasil aktual	Kelas hasil prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	2	5
Segera penanggulangan	0	73	8
Waspada	2	18	87

Tabel 14 *Confusion matrix* untuk model pada *fold*-7 untuk wilayah Sumatra

Kelas hasil aktual	Kelas hasil prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	1	6
Segera penanggulangan	0	66	15
Waspada	0	15	93

Pada dataset_kalimantan dan dataset_sumatra 10 model yang telah dilakukan evaluasi menunjukkan kelas *perlu diperhatikan* tidak terkласifikasi oleh model pada proses pengujian data uji. Hal tersebut terjadi karena tidak seimbangnya data dalam melakukan pemodelan. Sebuah himpunan data dikatakan menjadi tidak seimbang jika terdapat satu kelas yang direpresentasikan dalam jumlah *instance* yang kecil bila dibandingkan dengan jumlah *instance* kelas yang lainnya. Terlihat pada Tabel 15 kelas *perlu diperhatikan* untuk dataset_sumatra dan dataset_kalimantan memiliki persentase sensitivitas yang sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena tidak seimbangnya data dalam melakukan pemodelan. Penelitian ini tidak hanya mempertimbangkan persentasi sensitivitas kelas *segera penanggulangan* sebagai tingkat *confidence* titik panas yang memiliki potensi tinggi kebakaran, tetapi kelas *perlu diperhatikan* sebagai tingkat *confidence* titik panas yang memiliki potensi kebakaran yang lebih rendah juga dipertimbangkan. Pertimbangan ini dilakukan karena kondisi di lapangan menunjukkan kebakaran tidak hanya terjadi pada lokasi

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

yang memiliki tingkat *confidence* kelas *segera penanggulangan* saja, namun kenyataannya kebakaran dapat terjadi pada tingkat *confidence* titik panas lainnya

Penggunaan data tidak seimbang dalam membuat model sangat berpengaruh besar pada hasil model yang diperoleh. Pengolahan algoritme yang tidak menghiraukan ketidakseimbangan data cenderung diliputi oleh kelas mayor dan mengacuhkan kelas minor (Chawla 2003). Untuk menyeimbangkan data tersebut maka dilakukan teknik *oversampling* acak agar ketika proses *training* model, model mempelajari ciri-ciri kelas dengan seimbang. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan tahap kedua yaitu penyeimbangan data menggunakan teknik *oversampling* acak.

Tabel 15 Sensitivitas model klasifikasi yang memiliki akurasi tertinggi (%)

Dataset	Kelas		
	Perlu Diperhatikan	Segera Penanggulangan	Waspada
Kalimantan	0%	90%	81%
Sumatra	2%	57%	90%

Tahap 2

Praproses Data

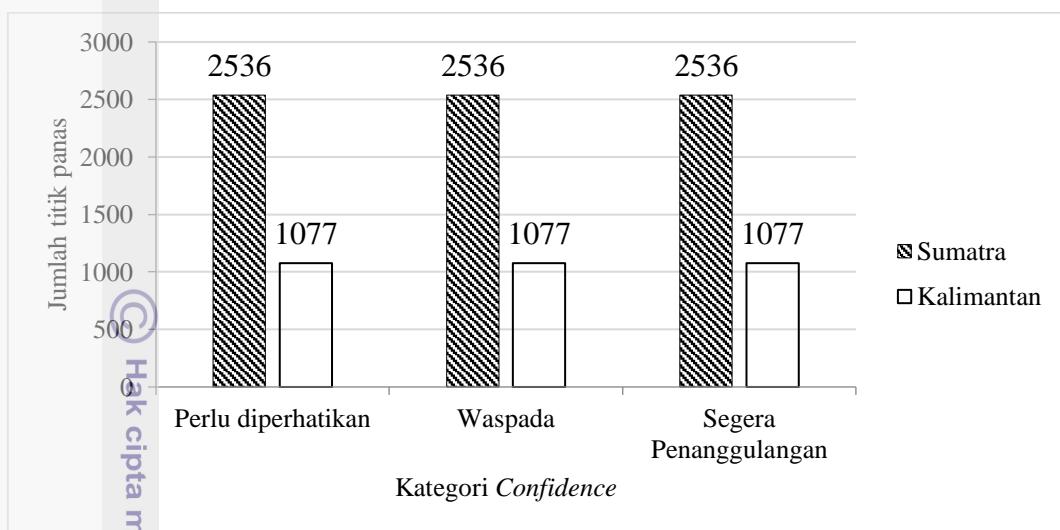
Praproses tahap dua dilakukan karena sensitivitas kelas *perlu diperhatikan* sangat rendah. Tabel 15 menunjukkan sensitivitas kelas *perlu diperhatikan* untuk dataset Kalimantan sebesar 0%. Artinya model yang terbentuk saat ini untuk dataset Kalimantan berpeluang 0% untuk diklasifikasikan kedalam kelas *perlu diperhatikan*. Perlu peningkatan sensitivitas untuk kelas *perlu diperhatikan* karena pada penelitian ini ketiga kelas yang terbentuk sama pentingnya. Salah satu penebab sensitivitas yang rendah adalah distribusi data yang tidak seimbang untuk setiap kelas, terutama untuk kelas *perlu diperhatikan*. Pada Gambar 7 dapat dilihat kelas *perlu diperhatikan* memiliki distribusi data yang paling kecil dibandingkan kelas lainnya. Oleh karena itu diperlukan penambah jumlah data. Penambahan jumlah data dilakukan dengan menggunakan teknik *oversampling* acak. Penggunaan *oversampling* acak memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang representatif (Margono 2004).

Teknik *oversampling* acak adalah cara untuk menambah data kelas minor dengan membuat kombinasi lain antara kategori-kategori yang dimiliki kelas minor tersebut agar jumlah data setara dengan kelas mayor. Penggunaan *oversampling* dilakukan dengan memperhatikan jumlah kombinasi fitur maksimal pada setiap kelas. *Oversampling* dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel. Penambahan data kombinasi baru dilakukan dengan memilih secara acak kategori-kategori yang dimiliki masing-masing atribut. Data baru tersebut diperbanyak hingga ratusan kali dengan harapan semua kombinasi kategori antara setiap atribut muncul. Hasil data baru dari semua kombinasi digabungkan dengan data awal sebelum dilakukan *oversampling*, semua data dibatasi hanya sebanyak kelas mayor atau kelas yang memiliki jumlah data terbanyak. Seperti pada dataset_sumatera kelas mayor atau kelas yang yang memiliki jumlah data terbanyak adalah kelas *waspada* yaitu sebanyak 2 536 data. Oleh karena kelas *perlu diperhatikan* dan kelas *segera penanggulangan* diperbanyak menjadi 2 536 data.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 8 Grafik distribusi *dataset titik panas* setelah *oversampling*

Pembagian Data

Pembagian data tahap kedua sama seperti tahap pertama yaitu dengan menggunakan metode *k-fold cross validation* dengan K = 10 menggunakan R. Pada dataset_kalimantan setiap perulangan diambil kurang lebih 108 baris dari setiap kelas yang digabungkan menjadi satu set data uji. Sisa dari masing-masing ketiga *data frame* tersebut sekitar 969 digabungkan menjadi data latih. Sedangkan dataset_sumatra setiap perulangan akan diambil kurang lebih 272 baris dari setiap kelas yang digabungkan menjadi satu set data uji dan kurang lebih 2 444 baris dari setiap kelas yang digabungkan menjadi satu set data latih. Data latih dan data uji tersebut dilatih menggunakan pohon keputusan C5.0 hingga diperoleh suatu model pada setiap perulangannya. Pembagian data latih dan data uji untuk Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra setelah dilakukan *oversampling* acak dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 Pembagian data latih dan data uji setelah *oversampling* acak

Fold ke-	Sumatra		Kalimantan	
	Jumlah data latih	Jumlah data uji	Jumlah data latih	Jumlah data uji
1	7332	816	2907	324
2	7332	816	2907	324
3	7335	813	2910	321
4	7332	816	2907	324
5	7335	813	2907	324
6	7332	816	2910	321
7	7335	813	2907	324
8	7332	816	2910	321
9	7335	813	2907	324
10	7332	816	2907	324

Pembuatan Model Klasifikasi Menggunakan Algoritme C5.0

Model klasifikasi dibuat menggunakan algoritme pohon keputusan C5.0 sama seperti tahap pertama. Pemodelan dilakukan seiring dilakukannya pembagian data sebanyak 10 *fold*. Pada pemodelan menggunakan algoritme C5.0 ini diperoleh 10 model dari setiap *fold*-nya.

Evaluasi Model Klasifikasi

Pengujian model klasifikasi dilakukan dengan mengklasifikasikan kelas data uji sama seperti pengujian tahap pertama. Kelas yang diprediksi akan dihitung persentase data yang sesuai dengan kelas aktual data uji. Perhitungan persentase tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix*. Kesepuluh model tersebut menghasilkan 10 akurasi. Tabel 17 menunjukkan hasil semua akurasi setiap model.

Tabel 17 Akurasi masing-masing model setelah *oversampling* (%)

Fold ke-	Akurasi model untuk dataset Kalimantan		Akurasi model untuk dataset Sumatra	
	Model berbasis pohon	Model berbasis aturan	Model berbasis pohon	Model berbasis aturan
1	80.24	83.33	83.82	84.06
2	80.55	81.48	84.55	84.92
3	81.61	80.99	84.13	83.88
4	86.72	84.87	86.27	85.90
5	83.33	83.33	85.23	86.10
6	83.48	83.80	84.06	84.68
7	83.64	84.25	86.59	86.46
8	80.99	79.43	86.02	86.15
9	84.56	84.87	84.74	84.50
10	80.55	80.24	84.92	85.66
Akurasi rata-rata	82.57	82.66	85.23	85.03

Akurasi rata-rata yang diperoleh dari kesepuluh model pada dataset_kalimantan adalah 82.57% untuk model berbasis pohon keputusan sedangkan akurasi rata-rata yang diperoleh dari kesepuluh model pada dataset_sumatra adalah 85.23%. Naiknya akurasi rataan setelah *oversampling* disebabkan karena model yang terbentuk saat ini sudah memiliki sensitivitas yang cukup baik untuk setiap kelasnya. Artinya model sudah cukup baik untuk mengenali setiap tingkat *confidence* titik panas. Tabel 18 menunjukkan sensitivitas model klasifikasi berbasis aturan yang memiliki akurasi tertinggi. Model yang memiliki akurasi tertinggi setelah *oversampling* pada dataset_kalimantan ada pada *fold* keempat yaitu 84.87%, sedangkan pada dataset_sumatra ada pada *fold* ketujuh yaitu 86.46%.

Setelah dilakukan *oversampling* (Tabel 18) sensitivitas kelas *perlu diperhatikan* pada dataset_kalimantan naik menjadi 99%, begitu juga dataset_sumatra mengalami peningkatan pada kelas *perlu diperhatikan* menjadi 86%. Tabel 18 menunjukkan model yang terbentuk saat ini untuk setiap kelasnya memiliki sensitivitas $\geq 70\%$. Artinya model yang terbentuk saat ini sudah lebih baik untuk mengenali ketiga kelas yang terbentuk dibandingkan sebelum dilakukan

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

proses *oversampling*. Cukup penting untuk mempertimbangkan setiap kelas tingkat *confidence* titik panas karena setiap kelas tingkat *confidence* memiliki peluang terjadinya kebakaran walaupun memiliki potensi yang berbeda-beda. Pemerintah memiliki tindakan pencegahan yang berbeda-beda untuk setiap kelas *tingkat confidence* titik panas sehingga tidak hanya memperhatikan salah satu kelas saja. *Confusion matrix* data uji pada model klasifikasi berbasis aturan untuk masing wilayah yang memiliki akurasi tertinggi dapat dilihat pada Tabel 19 dan Tabel 20.

Tabel 18 Sensitivitas model klasifikasi yang memiliki akurasi tertinggi setelah *oversampling*

Dataset	Kelas		
	Perlu Diperhatikan	Segera Penanggulangan	Waspada
Kalimantan	99%	84%	71%
Sumatra	86%	95%	70%

Tabel 19 *Confusion matrix* data uji pada model ke-4 untuk wilayah Kalimantan setelah *oversampling*

Kelas hasil aktual	Kelas hasil prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	107	1	0
Segera penanggulangan	11	91	6
Waspada	9	22	77

Tabel 20 *Confusion matrix* data uji pada model ke-7 untuk wilayah Sumatra setelah *oversampling*

Kelas hasil aktual	Kelas hasil prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	258	5	8
Segera penanggulangan	6	258	7
Waspada	35	48	188

Penentuan Karakteristik Tingkat *Confidence* Titik Panas

Model klasifikasi yang digunakan untuk menentukan karakteristik tingkat *confidence* adalah model klasifikasi berbasis aturan terbaik. Model klasifikasi terbaik adalah model yang memiliki akurasi tertinggi dibandingkan model lainnya. Penelitian ini model klasifikasi terbaik untuk dataset_kalimantan adalah model klasifikasi berbasis aturan pada *fold* ke-4 setelah *oversampling*, dimana model pohon keputusan menghasilkan 100 aturan dan model berbasis aturan terdiri dari 67 aturan. Sedangkan model klasifikasi terbaik untuk dataset_sumatra adalah model klasifikasi berbasis aturan pada *fold* ke-7 setelah *oversampling*, dimana pohon keputusan menghasilkan 376 aturan dan model berbasis aturan terdiri dari 186 aturan. Aturan-aturan yang dihasilkan model klasifikasi berbasis aturan akan digunakan untuk menentukan karakteristik tingkat *confidence*. Dataset_kalimantan terdiri atas 10 aturan kelas *perlu diperhatikan*, 20 aturan kelas segera penggulangan, dan 37 aturan kelas *waspada*. Dataset_sumatra terdiri atas 65 aturan kelas *perlu*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

diperhatikan, 14 aturan kelas segera penggulangan, dan 107 aturan kelas *waspada*. Model klasifikasi yang dihasilkan oleh model klasifikasi yang dihasilkan oleh model berbasis aturan dapat dilihat pada Lampiran 4.

Berikut contoh aturan terbaik dari masing-masing kelas hasil model klasifikasi pada *dataset* Kalimantan:

- 1 IF tutupan_lahan in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut} AND suhu_maksimum <= 32.2 AND kelembaban <= 83 THEN class *perlu diperhatikan* (26, lift 2.9)
- 2 IF suhu_minim > 25.7 or suhu_minimum <= 25.9 AND kecepatan_angin > 6 THEN class *segera penanggulangan* (87, lift 3.0)
- 3 IF suhu_minimum <= 24.41 AND kelembaban > 83 THEN Class *waspada* (59, lift 3.0)

Aturan ke-1, jika tutupan lahan adalah Non Vegetasi atau Hutan Rawa/Gambut dan suhu maksimum kurang dari sama dengan 32.2°C dan kelembaban kurang dari sama dengan 83% maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *perlu diperhatikan*. Aturan ke-2, jika suhu minimum berada pada rentan 25.7°C hingga 25.9°C dan kecepatan angin lebih besar dari 6 knot maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *segera penanggulangan*. Aturan ke-3, jika suhu minimum kurang dari sama dengan 24.41°C dan kelembaban lebih besar dari 83% maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *waspada*.

Pada aturan ke-2 nilai (87) menyatakan 87 data tergolong kelas yang benar diklasifikasikan ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *segera penanggulangan*. Nilai *lift* merupakan hasil pembagian akurasi rasio Laplace dengan frekuensi relative kelas yang diklasifikasikan. *Lift* 3.0 adalah hasil pembagian akurasi $(n - m + 1)/(n + 2)$ dengan frekuensi relatif kelas yang diklasifikasikan. N adalah jumlah data yang benar tergolong kelas dan m adalah jumlah data yang bukan kelas tetapi diklasifikasikan sebagai kelas.

Berikut contoh aturan terbaik dari masing-masing kelas hasil model klasifikasi pada *dataset* Sumatra:

- 1 IF suhu_minimum > 24.5 AND suhu_maksimum > 33.22 or suhu_maksimum <= 33.3 THEN class *perlu diperhatikan* (179, lift 3.0)
- 2 IF kedalaman_gambut = D2 AND suhu_maksimum <= 32.7 AND kelembaban > 81 or kelembaban <= 82 AND curah_hujan <= 1.5 THEN class *segera penanggulangan* (82/4, lift 2.8)
- 3 IF suhu_avg <= 27.1 AND kelembaban > 77 or kelembaban <= 80 AND lama_penyinaran > 1.9 AND lama_penyinaran <= 8.5 THEN Class *waspada* (91, lift 3.0)

Aturan ke-1, jika suhu minimum lebih besar dari 24.5°C dan suhu maksimum berada pada rentan 33.22°C hingga 33.3°C maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *perlu diperhatikan*. Aturan ke-2, jika kedalaman gambut adalah 100 hingga 200 cm dan suhu maksimum kurang dari sama dengan 32.7°C dan kelembaban berada pada rentan 81 % hingga 82 % dan curah hujan kurang dari sama dengan 1.5 mm maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *segera penanggulangan*. Aturan ke-3, jika suhu rata-rata kurang dari sama dengan 27.1°C dan lama penyinaran kurang dari sama dengan 8.5 jam maka lokasi tersebut diklasifikasikan masuk ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *waspada*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pada aturan ke-2 nilai (82/4) menyatakan 82 data tergolong kelas yang benar diklasifikasikan ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *perlu diperhatikan* dan 4 data tergolong kelas yang salah diprediksi ke dalam kategori *confidence* titik panas kelas *perlu diperhatikan*. Nilai *lift* merupakan hasil pembagian akurasi rasio Laplace dengan frekuensi relatif kelas yang diklasifikasikan. *Lift* 2.9 adalah hasil pembagian akurasi $(n - m + 1)/(n + 2)$ dengan frekuensi relatif kelas yang diklasifikasikan. n adalah jumlah data yang benar tergolong kelas dan m adalah jumlah data yang bukan kelas tetapi diklasifikasikan sebagai kelas.

Hasil klasifikasi model berbasis aturan memiliki perbedaan penggunaan atribut penjelas pada setiap aturan yang dihasilkan. Penggunaan atribut pada model klasifikasi *dataset* dapat dilihat pada Tabel 21.

Berdasarkan Tabel 21 faktor yang paling berpengaruh untuk mengklasifikasikan kategori *confidence* titik panas tahun 2016 di wilayah Kalimantan adalah kecepatan angin sedangkan di wilayah Sumatra adalah kelembaban. Pada model berbasis aturan di Kalimantan variabel kecepatan angin digunakan sebesar 96.32% yang menyatakan bahwa tidak semua aturan mengandung variabel kecepatan angin.

Tabel 21 Penggunaan atribut pada model klasifikasi berbasis aturan

Variabel	Presentase penggunaan variabel	
	Kalimantan tahun 2016	Sumatra tahun 2016
Kecepatan angin	96.32%	30.88%
Tutupan lahan	63.61%	51.20%
Kelembaban	83.11%	91.14%
Suhu rata-rata	14.07%	40.44%
Lama penyinaran	27.14%	40.25%
Kedalaman gambut	36.33%	90.81%
Suhu minimum	25.04%	35.30%
Suhu maksimum	15.82%	54.55%
Curah hujan	0.21%	31.25%

Secara umum, karakteristik titik panas wilayah Sumatra berdasarkan faktor cuaca dengan kategori *confidence* titik panas *segera penanggulangan* adalah kecepatan angin berada pada rentan 3 knot hingga 5 knot, kelembaban berada pada rentan 73% hingga 82%, lama penyinaran berada pada rentan 3 jam hingga 10.3 jam, suhu minimum berada pada rentan 22 °C hingga 24.1 °C, suhu maksimum berada pada rentan 30.8 °C hingga 34.6 °C, suhu rata-rata berada pada rentan 27 °C hingga 29.7 °C, dan curah hujan berada pada rentan 0.65 mm hingga 6.3 mm. Karakteristik titik panas wilayah Kalimantan berdasarkan faktor cuaca dengan kategori *confidence* titik panas *segera penanggulangan* adalah kecepatan angin berada pada rentan 3 knot hingga 6 knot, kelembaban berada pada rentan 73.4% hingga 83%, lama penyinaran berada pada rentan 2.3 jam hingga 9.9 jam, suhu minimum berada pada rentan 24.9 °C hingga 25.9 °C, suhu maksimum berada pada rentan 34.1 °C hingga 34.6 °C, suhu rata-rata berada pada rentan 28 °C hingga 30.3 °C, dan curah hujan lebih besar sama dengan 0 mm.

Model klasifikasi wilayah Kalimantan memiliki 19 aturan untuk memprediksi tingkat *confidence* kategori *segera penanggulangan*, dimana 14 aturan diantaranya memiliki atribut tutupan lahan vegetasi. Sedangkan untuk model klasifikasi wilayah

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Sumatra terdapat 14 aturan untuk memprediksi tingkat *confidence* kategori *segera penanggulangan*, dimana 4 aturan diantaranya memiliki atribut tutupan lahan vegetasi. Persentase kemunculan tutupan lahan vegetasi untuk wilayah Kalimantan dan Sumatra untuk kelas *segera penanggulangan* dapat dilihat pada Tabel 22. Tabel 22 menunjukkan tutupan lahan vegetasi yang memiliki frekuensi kemunculan terbesar pada wilayah Kalimantan adalah vegetasi perkebunan dan semak belukar sedangkan wilayah Sumatra adalah vegetasi hutan rimba dan perkebunan.

Atribut kedalaman gambut pada model klasifikasi wilayah Kalimantan muncul pada 11 aturan untuk memprediksi tingkat *confidence* kategori *segera penanggulangan*, sedangkan model klasifikasi wilayah Sumatra muncul sebanyak 5 aturan. Persentase kemunculan kedalaman gambut untuk wilayah Kalimantan dan Sumatra dapat dilihat pada Tabel 23. Tabel 23 menunjukkan kedalaman gambut yang memiliki frekuensi kemunculan terbanyak. Wilayah Kalimantan frekuensi kedalaman gambut terbanyak berada pada rentan 200 hingga 400 cm, sedangkan wilayah Sumatra frekuensi kedalaman gambut terbanyak berada pada rentan 200 hingga 400 cm dan lebih besar dari 400 cm.

Tabel 22 Persentase jumlah aturan pada kelas *segera penanggulangan* yang mengandung jenis tutupan lahan vegetasi di wilayah Sumatra dan Kalimantan

Jenis tutupan lahan vegetasi	Percentase jumlah aturan	
	Kalimantan	Sumatra
Hutan Rawa	14.28%	0%
Semak Belukar	42.85%	0%
Hutan Rimba	14.28%	25.00%
Perkebunan/Kebun	42.85%	25.00%
Sawah	21.42%	0%
Tanah Kosong/Alang-alang	21.42%	0%
Tegalan/Ladang	14.28%	0%
tan Vegetasi	35.71%	50.00%

Tabel 23 Persentase jumlah aturan pada kelas *segera penanggulangan* yang mengandung kedalaman gambut di wilayah Sumatra dan Kalimantan

Kedalaman gambut	Percentase jumlah aturan	
	Kalimantan	Sumatra
<50 cm	0%	0%
50-100 cm	27.27%	20.00%
100-200 cm	45.45%	20.00%
200-400 cm	54.54%	60.00%
> 400 cm	45.45%	60.00%

Verifikasi tingkat *Confidence* titik panas

Verifikasi titik panas adalah tahapan dari informasi titik panas yang diterima dari satelit kemudian diteruskan ke kelompok masyarakat desa. Kegiatan ini dilaksanakan untuk memastikan apakah titik panas yang terpantau di Pos Koordinasi Provinsi adalah benar kebakaran di lapangan. Informasi yang dikumpulkan oleh Pos Koordinasi Provinsi adalah informasi dari satelit yang pada

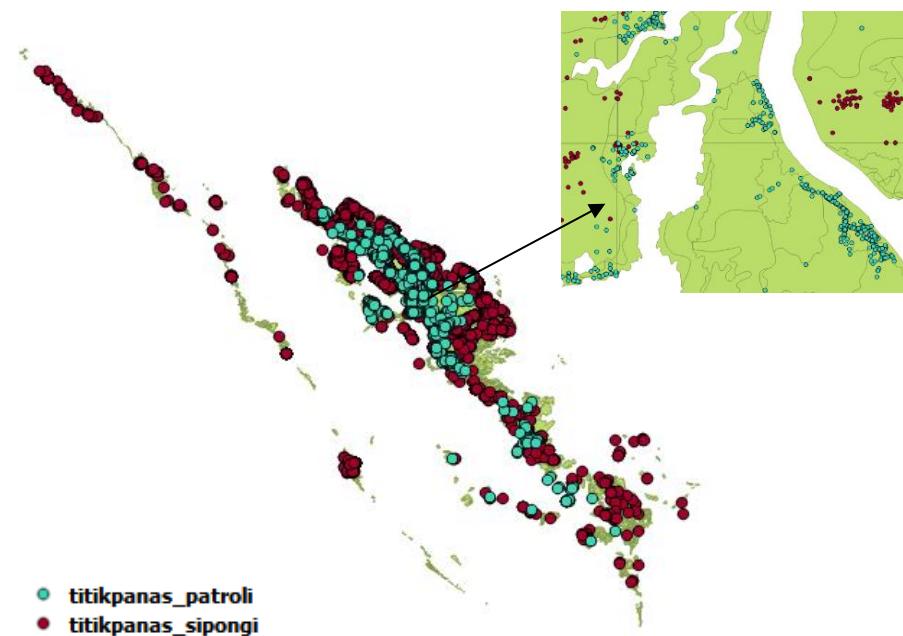
dasarnya masih indikasi dan perlu di pastikan bahwa titik panas tersebut memang kebakaran atau bukan.

Verifikasi dilakukan menggunakan data patroli karhutla milik KLHK tahun 2016. Data patroli tahun 2016 mencatat 2 584 titik lokasi yang dilakukan verifikasi ke lapangan, 992 diantaranya berada di atas lahan gambut. Tercatat dari 922 titik, 266 titik yang diverifikasi adalah lokasi terbakar dan bekas terbakar di lapangan. Tahun 2016 kegiatan patroli dilakukan pada 7 provinsi yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Jambi, Riau, dan Sumatra Selatan. Verifikasi dilakukan dengan metode *buffering* didasarkan pada kesalahan geometrik dari citra MODIS sebesar 2 piksel (± 2 km) sehingga lokasi patroli yang diperoleh dibuat *buffering* dengan radius 2 km. Menurut Khomaruddin *et al.* (2012) menyatakan bahwa metode *buffering* dilakukan dengan radius 2 km yang didasarkan pada frekuensi titik panas secara berturut-turut selama 2 hingga 3 hari pada radius 2 km.

Satu piksel citra MODIS merepresentasikan titik panas dalam radius sekitar 1.113 km. MODIS akan merepresentasikan titik panas dalam radius 1.113 km sebagai 1 titik. Jika dalam radius 1.113 km terdapat lebih dari 1 titik panas, akan tetap terdeteksi sebagai 1 titik (Giglio *et al.* 2003). Hal ini bermakna titik panas bisa saja berasal dari lokasi yang sedang terbakar dalam radius 1.113 km. Namun perlu diketahui koordinat lokasi titik panas yang diekstraksi dari data satelit tidak selalu tepat dengan koordinat lokasi di lapangan. Salah satu penyebabnya adalah karena posisi koordinat lokasi titik panas dari data satelit diekstrak pada posisi tengah piksel, walapun kejadian kebakaran hutan di lapangan berada di lokasi pinggir piksel posisi koordinat lokasi titik panas akan diekstrak pada posisi tengah piksel (LAPAN 2016). Menurut LAPAN (2016) untuk di wilayah pinggir piksel, resolusi spasialnya bisa $2\text{ km} \times 2\text{ km}$, sehingga kesalahan lokasi bisa mencapai maksimal 2 km.

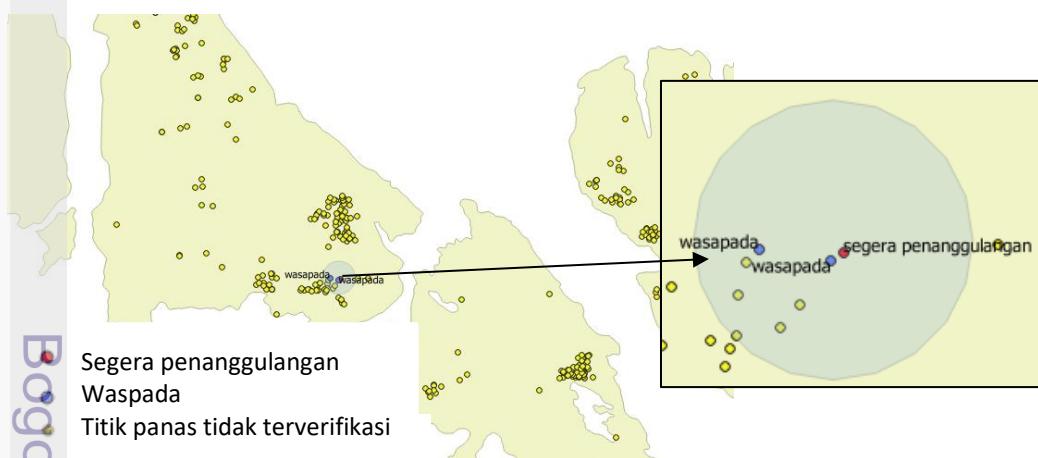
Pada penelitian ini tidak semua titik panas milik KLHK dapat diverifikasi menggunakan data patroli, dapat dilihat pada Gambar 9 terdapat perbedaan kesesuaian lokasi yang cukup jauh antara titik panas milik KLHK dengan data patroli. Penelitian ini hanya bisa memverifikasi 14 titik panas milik KLHK. Hal ini mungkin disebabkan petugas patroli tidak hanya menggunakan data kordinat satelit milik LAPAN untuk melakukan pengecekan ke lapangan atau disebabkan kendala lokasi titik kordinat yang sulit dijangkau. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) juga pernah melakukan kegiatan pengecekan lapangan di provinsi Riau. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa cukup banyak lokasi titik koordinat yang sulit dijangkau. Medan yang berat, jauh dari pemukiman, tidak bisa diakses oleh kendaraan adalah beberapa permasalahan pokok yang ditemui di lapangan. Kendala waktu dan dana juga dapat membatasi jumlah titik panas yang dapat disurvei (Khomaruddin *et al.* 2010). Selain itu, penelitian ini juga mendapatkan dari 266 titik lokasi patroli yang diverifikasi adalah lokasi terbakar dan bekas terbakar di lapangan, sebanyak 258 titik tidak terdeteksi pada titik panas milik KLHK. Besar kemungkinan hal ini disebabkan oleh luas kebakaran yang kecil namun memiliki titik-titik kebakaran yang tersebar.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 9 Lokasi titik panas milik KLHK dan data patroli

Hasil verifikasi menggunakan metode *buffering* sejauh 2 km pada titik panas milik KLHK mendapatkan 14 titik panas muncul dari lokasi sekitar patroli tersebut. Gambar 10 menunjukkan contoh hasil verifikasi menggunakan metode *buffering*. Sekitar 57.14% (8 titik panas) terverifikasi berada pada lokasi sekitar kebakaran dan bekas terbakar. Enam titik panas yang terverifikasi berada pada tingkat *confidence waspada* dan 2 titik panas berasal dari tingkat *confidence segera penanggulangan*. Titik panas juga muncul pada lokasi rawan karhutla sebanyak 42.85% (6 titik panas), dimana 5 titik panas berada pada tingkat *confidence waspada* dan 1 titik panas berada pada tingkat *confidence segera penanggulangan*. Tabel 24 menunjukkan jumlah titik panas yang muncul untuk masing-masing tingkat *confidence*. Data titik panas yang dapat dilakukan verifikasi menggunakan data patroli dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 10 Contoh hasil verifikasi menggunakan metode *buffering*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 24 Jumlah titik panas berdasarkan tingkat *confidence*

Kelas tindakan	Kondisi lahan	Jumlah titik panas
Perlu diperhatikan	Bekas karhutla	0
	Terbakar	0
	Siap bakar	0
	Rawan karhutla	0
Waspada	Bekas karhutla	4
	Terbakar	2
	Siap bakar	0
	Rawan karhutla	5
Segera penanggulangan	Bekas karhutla	1
	Terbakar	1
	Siap bakar	0
	Rawan karhutla	1

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini berhasil menerapkan algoritme C5.0 untuk klasifikasi tingkat *confidence* pada lahan gambut di Kalimantan dan Sumatra dengan menggunakan atribut kedalaman gambut, tutupan lahan, suhu minimum, suhu maksimum, suhu rata-rata, kelembaban, kecepatan angin, curah hujan, dan lama penyinaran. Atribut yang paling berpengaruh dalam klasifikasi *confidence* titik panas pada *dataset* Kalimantan adalah kecepatan angin, sedangkan pada *dataset* Sumatra adalah kelembaban. Akurasi rata-rata model berbasis aturan pada *dataset* Kalimantan adalah 82.66% sedangkan *dataset* Sumatra adalah 85.03%. Hasil klasifikasi *dataset* Kalimantan menunjukkan karakteristik *confidence* titik panas dengan kategori *segera penanggulangan* berada pada wilayah dengan kecepatan angin berada pada rentan 3 knot hingga 6 knot, kelembaban berada pada rentan 73.4% hingga 83%, lama penyinaran berada pada rentan 2.3 jam hingga 9.9 jam, suhu maksimum berada pada rentan 34.1 °C hingga 34.6 °C, dan curah hujan lebih besar sama dengan 0 mm. Sedangkan karakteristik titik panas wilayah Sumatra dengan kategori *confidence* titik panas *segera penanggulangan* adalah kecepatan angin berada pada rentan 3 knot hingga 5 knot, kelembaban berada pada rentan 73% hingga 82%, lama penyinaran berada pada rentan 3 jam hingga 10.3 jam, suhu minimum berada pada rentan 22 °C hingga 24.1 °C, suhu maksimum berada pada rentan 30.8 °C hingga 34.6 °C, suhu rata-rata berada pada rentan 27 °C hingga 29.7 °C, dan curah hujan berada pada rentan 0.65 mm hingga 6.3 mm. Hasil verifikasi titik panas menggunakan data patroli tahun 2016 menunjukkan tidak semua titik panas dapat diverifikasi menggunakan data patroli. Empat belas titik panas yang dapat diverifikasi menunjukkan kejadian kebakaran lahan gambut tidak hanya terjadi pada tingkat *confidence* kategori *segera penanggulangan* tapi dapat juga terjadi pada tingkat *confidence* kategori *waspada*.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Saran

Pengambilan data yang dilakukan belum mempertimbangkan faktor-faktor yang paling mempengaruhi tingkat *confidence* titik panas. Untuk itu, perlu adanya pengujian pada beberapa hal tersebut pada penelitian selanjutnya. Prediksi tingkat *confidence* titik panas juga belum diujikan ke kondisi aktualnya, apakah model klasifikasi tingkat *confidence* sesuai dengan karakteristik yang terbentuk di lapangan. Untuk itu, masih diperlukan perbaikan model agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprita D. 2017. Klasifikasi Kemunculan Titik Panas Pada Lahan Gambut di Sumatra dan Kalimantan dengan Menggunakan Algoritme Pohon Keputusan C5.0. [skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Anderson IP, Manda ID, Muhnandar. 1999. *Vegetation Fires in Sumatera Indonesia: The Presentasion and Distribution of NOAA-Derived Data*. Palembang: Forest Fire Prevention and Control Project. European Union and Indonesian Ministry of Forestry and Estate Crops.
- [BBSLDP] Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000 Peta Lahan Gambut Indonesia skala 1:250.000. Bogor, Indonesia: BBSLDP.
- Chawla VN. 2003. *C4.5 and Imbalanced Data sets Investigating the effect of sampling method, probabilistic estimate, and decision tree structure* [Internet]. [diunduh 2018 Mar 1]. Tersedia pada: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/>
- Giglio L, Descloitres J, Justice CO, Kaufman Y. 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87:273-282.
- Giglio L. 2015. *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision A*. Department of Geographical Sciences. University of Maryland. 19
- Giglio L, Justice CO, Schroeder W. 2016. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*. 178:31-41.
- Han J, Kamber M, Pei J. 2012. *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3rd ed. Massachusetts (US): Morgan Kaufmann.
- Hidayat, A. Kushardono D, Asriningrum W, Zubaedah A dan Efendy, I. 2003. Laporan Verifikasi dan Validasi Metode Pemantauan Mitigasi Bencana Kebakaran Hutan dan Kekeringan. Jakarta: Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh-LAPAN.
- Khamaruddin, M. Rokhis. 2010. Laporan Teknis Kegiatan Survei Kebakaran Hutan Tahun 2010, LAPAN.
- Khamarudin, M.R., Vetrita, Y., Zubaidah, A., and Suwarsono. Validasi Hotspot MODIS di Wilayah Sumatera dan Kalimantan Berdasarkan Data Penginderaan Jauh SPOT-4 Tahun 2012. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Analisa Citra Digital* Vol. 11 No. 1 Juni 2014: 1- 14.
- [LAPAN] Lembaga Antarksa dan Penerbangan Nasional. 2016. Informasi Titik Panas (*Hotspot*) Kebakaran Hutan/Lahan. Pusat Pemanfaatan Penginderaan

Jauh Deputi Bidang Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) V.01.

- Margono. 2004. *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Jakarta (ID): Rineka Cipta
- Patil N, Lathi R, Chitre V. 2012. Customer card classification based on C5.0 and CART algorithms. *International Journal of Engineering Research and Applications*; 2012 July-August. 2 (4):164-167.
- Rulequest. 2012. *C5.0: An Informal Tutorial*. [Internet]. [diunduh 2018 Januari 7]. Tersedia pada: <https://www.rulequest.com/see5-unix.html>.
- Siknun GP, Sitanggang IS. 2016. Web-based classification for forest fire data using shiny framework and the C5.0 algorithm. *Procedia. Environment Science*.
- Subagjo H, Suparto, Ritung S, Wahyunto, 2005. Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatra dan Kalimantan. *Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia*. Wetlands International– Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor.
- Sukmawati A. 2008. Hubungan Atara Curah Hujan dengan Titik Panas (Hotspot) sebagai Indikator Terjadinya kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Pontianak Provinsi Kalimantan Barat [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Syaufina L. 2008. Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia: Perilaku Api, Penyebab, dan Dampak Kebakaran. Malang: Bayumedia Publishing.
- Witten IH, Frank E, Hall MA. 2011. Data Mining: *Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 3rd edition.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh perhitungan *information gain*

Berikut ini disajikan contoh *dataset* titik panas Sumatra

Kedalaman gambut	Tindakan	vegetasi	Suhu minimum	Suhu rata-rata	Suhu maksimum	Kelembaban	Kecepatan angin	Curah hujan	Lama penyinaran
D1	waspada	Perkebunan/ Kebun	23	27.2	34.2	83	2	0	4
D3	segera penanggulangan	Semak Belukar	24	28.7	34.2	77	3	0	3.5
D2	segera penanggulangan	hutan rimba	24.4	27.9	32.6	82	4	0	7.5
D2	segera penanggulangan	hutan rimba	24.4	27.9	32.6	82	4	0	7.5
D3	perlu diperhatikan	Perkebunan/Kebun	24.6	26.5	32.4	89	3	0	3.9

Perhitungan *information gain* kelas

$$P(\text{Perlu diperhatikan}) = 1$$

$$P(\text{Waspada}) = 1$$

$$P(\text{Segera penanggulangan}) = 3$$

$$I_{Kelas} = -(P(\text{Perlu diperhatikan}) \log_2(\text{Perlu diperhatikan})) - (P(\text{Waspada}) \log_2(\text{Waspada})) - (P(\text{Segera penanggulangan}))$$

$$I_{Kelas} = -\frac{1}{5} \log_2 \left(\frac{1}{5} \right) - \frac{1}{5} \log_2 \left(\frac{1}{5} \right) - \frac{3}{5} \log_2 \left(\frac{3}{5} \right) = 1.37$$

Perhitungan *information gain* atribut kedalaman gambut

$$P(\text{Kedalaman gambut kategori D1}) = 1/5$$

- Jumlah kelas Perlu diperhatikan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D1 = 0
- Jumlah kelas Waspada pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D1 = 1
- Jumlah kelas Segera Penanggulangan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D1 = 0

$$P(\text{Kedalaman gambut kategori D2}) = 2/5$$

- Jumlah kelas Perlu diperhatikan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D2 = 0
- Jumlah kelas Waspada pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D2 = 0

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 1 lanjutan

Jumlah kelas Segera Penanggulangan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D2 = 2

P (Kedalaman gambut kategori D3) = 2/5

- Jumlah kelas Perlu diperhatikan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D3 = 1
- Jumlah kelas Waspada pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D3 = 0
- Jumlah kelas Perlu Penanggulangan pada *tuple* atribut kedalaman gambut kategori D3 = 1

Menghitung *information gain* pada atribut kedalaman gambut yaitu:

$$I_{D1} = - \frac{0}{1} \log_2 \left(\frac{0}{1} \right) - \frac{1}{1} \log_2 \left(\frac{1}{1} \right) - \frac{0}{1} \log_2 \left(\frac{0}{1} \right) = 0$$

$$I_{D2} = - \frac{0}{2} \log_2 \left(\frac{0}{2} \right) - \frac{0}{2} \log_2 \left(\frac{0}{2} \right) - \frac{2}{2} \log_2 \left(\frac{2}{2} \right) = 0$$

$$I_{D3} = - \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{1}{2} \right) - \frac{0}{2} \log_2 \left(\frac{0}{2} \right) - \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{1}{2} \right) = 1$$

$$\text{Gain}_{D1} = 1.37 - \frac{1}{5} (0) = 1.37$$

$$\text{Gain}_{D2} = 1.37 - \frac{1}{5} (0) = 1.37$$

$$\text{Gain}_{D3} = 1.37 - \frac{2}{5} (1) = 0.97$$

Karena *information gain* tertinggi dimiliki oleh kategori D1 dan D2, maka yang menjadi *parent* adalah atribut kedalaman gambut adalah kategori D1 dan D2.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 2 Baris kode R untuk mendapatkan model dan informasi lainnya

```
library("C50", lib.loc = " ~ /R/win-library/3.3")
library("plyr", lib.loc = " ~ /R/win-library/3.3")
library("caret", lib.loc = " ~ /R/win-library/3.3")
Data<-dataset_Sumatra
Data <- Data[sample(nrow(Data)),]
Tinggi <- Data[Data$tindakan == 'segera penanggulangan', ]
Sedang <- Data[Data$tindakan == 'waspada', ]
Rendah <- Data[Data$tindakan == 'perlu diperhatikan', ]
dataTinggi <- Data[sample(nrow(Tinggi)),]
foldsTinggi <- cut(seq(1,nrow(dataTinggi)), breaks = 10, labels = FALSE)
dataSedang <- Data[sample(nrow(Sedang)),]
foldsSedang <- cut(seq(1,nrow(dataSedang)), breaks = 10, labels = FALSE)
dataRendah <- Data[sample(nrow(Rendah)),]
foldsRendah <- cut(seq(1,nrow(dataRendah)), breaks = 10, labels = FALSE)
vektorAkurasi <- vector(length = 10)
vektorAkurasiRule <- vector(length = 10)
for(i in 1:10){
  indexTinggi <- which(foldsTinggi==i, arr.ind = TRUE)
  indexSedang <- which(foldsSedang==i, arr.ind = TRUE)
  indexRendah <- which(foldsRendah==i, arr.ind = TRUE)
  testDataTinggi <- Tinggi[indexTinggi, ]
  trainDataTinggi <- Tinggi[-indexTinggi, ]
  testDataSedang <- Sedang[indexSedang, ]
  trainDataSedang <- Sedang[-indexSedang, ]
  testDataRendah <- Rendah[indexRendah, ]
  trainDataRendah <- Rendah[-indexRendah, ]
  testData <- join_all(list(testDataRendah,testDataSedang,testDataTinggi), type = 'full')
  trainData <- join_all(list(trainDataRendah,trainDataSedang,trainDataTinggi), type = 'full')
  assign(paste0("dataTes",i), testData)
  assign(paste0("dataTrain",i), trainData)
  modelnya <- C5.0(trainData[-2], as.factor(trainData$tindakan))
  rulunya<- C5.0(trainData[-2], as.factor(trainData$tindakan), rules = TRUE)
  assign(paste0("Model",i), modelnya)
  assign(paste0("Rule",i), rulunya)
  prediksinya <- (predict(modelnya, testData))
  prediksirule <- (predict(rulunya, testData))
  temp <- table(prediksinya, as.factor(testData$tindakan))
  temp1 <- table(prediksirule, as.factor(testData$tindakan))
  akurasi <- ((temp[1,1]+temp[2,2]+temp[3,3])/sum(temp)) * 100
  akurasiRule <- ((temp1[1,1]+temp1[2,2]+temp1[3,3])/sum(temp1)) * 100
  vektorAkurasi[i] <- akurasi
  vektorAkurasiRule[i] <- akurasiRule
  assign(paste0("Hasil",i), confusionMatrix(prediksinya, as.factor(testData$tindakan)))
  assign(paste0("HasilRule",i),confusionMatrix(prediksirule,
  as.factor(testData$tindakan)))
}
```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Pemakaian IPB (Institut Pertanian Bogor)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 3 *Confusion matrix* dari model pada data uji sebelum di-*oversampling*

Confusion matrix dataset Kalimantan sebelum di-oversampling

		Fold 1		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	0	8
Segera penanggulangan		0	60	22
Waspada		0	14	94
		Fold 2		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	0	7
Segera penanggulangan		0	61	20
Waspada		2	19	87
		Fold 3		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	2	5
Segera penanggulangan		0	73	8
Waspada		2	18	87
		Fold 4		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	1	6
Segera penanggulangan		0	57	24
Waspada		0	17	91
		Fold 5		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		1	1	5
Segera penanggulangan		0	64	17
Waspada		0	22	86
		Fold 6		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	0	7
Segera penanggulangan		0	60	21
Waspada		0	15	92
		Fold 7		
		Prediksi		
Aktual		Perlu diperhatikan	Segera penanggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	1	6
Segera penanggulangan		0	66	15
Waspada		0	15	93

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 3 lanjutan

Fold 8			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	2	5
Segera penanggulangan	0	66	15
Waspada	0	21	86

Fold 9			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	2	5
Segera penanggulangan	0	61	20
Waspada	0	13	95

Fold 10			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	1	7
Segera penanggulangan	0	62	20
Waspada	2	16	90

Confusion matrix dataset Sumatra sebelum di-oversampling

Fold 1			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	4	4	37
Segera penanggulangan	0	34	248
Waspada	0	15	239

Fold 2			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	0	7
Segera penanggulangan	0	61	20
Waspada	2	19	87

Fold 3			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	2	5
Segera penanggulangan	0	73	8
Waspada	2	18	87

Fold 4			
Aktual	Prediksi		
	Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan	0	1	6
Segera penanggulangan	0	57	24
Waspada	0	17	91

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 3 lanjutan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

		Fold 5		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		1	1	5
Segera penanggulangan		0	64	17
Waspada		0	22	86
		Fold 6		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	0	7
Segera penanggulangan		0	60	21
Waspada		0	15	92
		Fold 7		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	1	6
Segera penanggulangan		0	66	15
Waspada		0	15	93
		Fold 8		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	2	5
Segera penanggulangan		0	66	15
Waspada		0	21	86
		Fold 9		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	2	5
Segera penanggulangan		0	61	20
Waspada		0	13	95
		Fold 10		
Aktual		Prediksi		
		Perlu diperhatikan	Segera penaggulangan	Waspada
Perlu diperhatikan		0	1	7
Segera penanggulangan		0	62	20
Waspada		2	16	90

Lampiran 4 Model klasifikasi berbasis aturan dengan algoritme C5.0 menggunakan perangkat lunak R

Model Klasifikasi berbasis aturan di Kalimantan

Rules:

Rule 1: (26, lift 2.9)
 tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut}
 suhu_maksi <= 32.2
 kelembaban <= 83
 -> class perlu diperhatikan [0.964]

Rule 2: (29/1, lift 2.8)
 tutupan_la = Hutan Rawa/Gambut
 suhu_avg > 28.9
 kecepatan_angin <= 4
 -> class perlu diperhatikan [0.935]

Rule 3: (10, lift 2.8)
 tutupan_la = Tegalan/Ladang
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin <= 3
 lama_penyinaran <= 7.7
 -> class perlu diperhatikan [0.917]

Rule 4: (30/2, lift 2.7)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Rawa
 kecepatan_angin > 6
 -> class perlu diperhatikan [0.906]

Rule 5: (89/8, lift 89/8)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi, Sawah}
 suhu_minim > 24.41429
 kelembaban > 83
 kelembaban <= 87
 kecepatan_angin > 3
 kecepatan_angin <= 4
 -> class perlu diperhatikan [0.901]

Rule 6: (52/9, lift 2.4)
 kedalaman_ in {D1, D2}
 tutupan_la = Non Vegetasi
 suhu_avg > 28.9
 suhu_avg <= 29.5
 suhu_maksi > 34.4
 kecepatan_angin > 4
 kecepatan_angin <= 6
 -> class perlu diperhatikan [0.815]

Rule 7: (2048/1198, lift 1.2)
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 6
 -> class perlu diperhatikan [0.415]

Rule 8: (87, lift 3.0)
 suhu_minim > 25.7
 suhu_minim <= 25.9
 kecepatan_angin > 6
 -> class segera penanggulangan [0.989]

Rule 9: (14, lift 2.8)
 kedalaman_ in {D3, D4, D2}
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 25.1
 suhu_avg > 28
 kelembaban > 80
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin > 3
 lama_penyinaran > 6
 -> class segera penanggulangan [0.938]

Rule 10: (14, lift 2.8)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la in {Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang, Tegalan/Ladang}
 suhu_minim <= 25.9
 kecepatan_angin > 6
 -> class segera penanggulangan [0.938]

Rule 11: (14, lift 2.8)
 tutupan_la = Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran <= 7.8
 -> class segera penanggulangan [0.938]

Rule 12: (10, lift 2.8)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar, Sawah}
 suhu_avg > 28
 suhu_maksi > 34.1
 suhu_maksi <= 34.6
 lama_penyinaran > 7
 lama_penyinaran <= 7.7
 -> class segera penanggulangan [0.917]

Rule 13: (10, lift 2.8)
 kedalaman_ = D2
 kelembaban > 82
 kelembaban <= 83
 lama_penyinaran <= 9.9
 -> class segera penanggulangan [0.917]

Rule 14: (21/1, lift 2.7)
 kedalaman_ = D3
 suhu_minim > 24.9
 suhu_maksi <= 34.6
 kelembaban <= 83
 kecepatan_angin <= 6
 lama_penyinaran > 2.3
 lama_penyinaran <= 6
 -> class segera penanggulangan [0.913]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

Rule 15: (17/1, lift 2.7)
 tutupan_la in {Non Vegetasi, Semak Belukar}
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran <= 3.9
 -> class segera penanggulangan [0.895]

Rule 16: (6, lift 2.6)
 suhu_maksi > 34.6
 curah_hujan > 0
 lama_penyinaran > 6.5
 -> class segera penanggulangan [0.875]

Rule 17: (14/1, lift 2.6)
 tutupan_la = Non Vegetasi
 suhu_minim > 25.9
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran > 7.8
 -> class segera penanggulangan [0.875]

Rule 18: (25/3, lift 2.6)
 kedalaman_in {D3, D4, D2}
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 25.8
 suhu_maksi > 34.6
 kelembaban > 74
 kelembaban <= 83
 lama_penyinaran > 6.5
 -> class segera penanggulangan [0.852]

Rule 19: (13/20, lift 2.5)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi, Semak Belukar, Rawa, Sawah, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang, Hutan Rawa/Gambut, Hutan Rimba}
 kelembaban > 81
 kelembaban <= 82
 lama_penyinaran <= 9.9
 -> class segera penanggulangan [0.832]

Rule 20: (241/51, lift 2.4)
 kedalaman_in {D3, D4, D2}
 tutupan_la in {Semak Belukar, Tegalan/Ladang, Hutan Rimba}
 suhu_minim <= 25.9
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran > 3.9
 -> class segera penanggulangan [0.786]

Rule 21: (19/4, lift 2.3)
 kedalaman_in {D4, D2}
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar, Sawah}
 suhu_minim > 25.1
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 80
 kecepatan_angin <= 6
 -> class segera penanggulangan [0.762]

Rule 22: (9/2, lift 2.2)
 kedalaman_ = D3
 suhu_avg > 30.3

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

-> class segera penanggulangan [0.727]

Rule 23: (29/9, lift 2.0)

kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Non Vegetasi
 suhu_avg <= 29.5
 kecepatan_angin <= 4

-> class segera penanggulangan [0.677]

Rule 24: (147/58, lift 1.8)

kedalaman_in {D3, D4}
 tutupan_la = Semak Belukar
 suhu_maksi > 34.6
 kelembaban > 74

kecepatan_angin <= 6

-> class segera penanggulangan [0.604]

Rule 25: (36/15, lift 1.7)

kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 kelembaban > 75
 kelembaban <= 83

kecepatan_angin > 3

lama_penyinaran <= 7.1

-> class segera penanggulangan [0.579]

Rule 26: (574/273, lift 1.6)

tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut}
 kelembaban <= 83

kecepatan_angin <= 6

-> class segera penanggulangan [0.524]

Rule 27: (59, lift 3.0)

suhu_minim <= 24.41429
 kelembaban > 83

-> class waspada [0.984]

Rule 28: (57, lift 2.9)

kelembaban > 83
 kecepatan_angin > 4

-> class waspada [0.983]

Rule 29: (35, lift 2.9)

tutupan_la = Non Vegetasi
 suhu_minim <= 25.7
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran > 3.9

-> class waspada [0.973]

Rule 30: (31, lift 2.9)

kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Semak Belukar
 kecepatan_angin > 6

-> class waspada [0.970]

Rule 31: (29, lift 2.9)

tutupan_la in {Non Vegetasi, Semak Belukar}
 suhu_minim > 25.9
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyinaran <= 7.8

-> class waspada [0.968]

Lampiran 4 lanjutan

Rule 32: (28, lift 2.9)
 tutupan_la in {Semak Belukar, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 kelembaban > 83
 -> class waspada [0.967]

Rule 33: (27, lift 2.9)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Hutan Rawa/Gambut
 suhu_avg <= 29.5
 kecepatan_angin > 4
 -> class waspada [0.966]

Rule 34: (26, lift 2.9)
 tutupan_la = Tanah Kosong/Gundul/Alan
 gjalang
 suhu_maksi <= 34.6
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.964]

Rule 35: (23, lift 2.9)
 kedalaman_ = D4
 suhu_avg > 29.6
 suhu_maksi > 34.6
 lama_penyinaran <= 6.5
 -> class waspada [0.960]

Rule 36: (18, lift 2.8)
 kelembaban > 83
 kecepatan_angin <= 3
 -> class waspada [0.950]

Rule 37: (57/2, lift 2.8)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Hutan
 Rawa/Gambut}
 kecepatan_angin > 6
 -> class waspada [0.949]

Rule 38: (17, lift 2.8)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak
 Belukar, Sawah, Tanah Kosong/Gundul/
 Alang-alang}
 suhu_avg > 29.6
 suhu_avg <= 30.3
 suhu_maksi > 34.6
 lama_penyinaran <= 6.5
 -> class waspada [0.947]

Rule 39: (17, lift 2.8)
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 kelembaban > 83
 kelembaban <= 85
 -> class waspada [0.947]

Rule 40: (15, lift 2.8)
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 28.6
 kecepatan_angin <= 6
 lama_penyinaran <= 2.3
 -> class waspada [0.941]

Rule 41: (15, lift 2.8)
 kedalaman_ in {D3, D4, D2}
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak
 Belukar, Sawah}

suhu_minim <= 24.9
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin > 3
 kecepatan_angin <= 6
 lama_penyinaran <= 6
 -> class waspada [0.941]

Rule 42: (13, lift 2.8)
 kedalaman_ in {D1, D2}
 suhu_avg > 29
 suhu_avg <= 29.5
 suhu_maksi <= 34.4
 kecepatan_angin > 4
 -> class waspada [0.933]

Rule 43: (13, lift 2.8)
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin <= 6
 lama_penyinaran > 9.9
 -> class waspada [0.933]

Rule 44: (13, lift 2.8)
 kelembaban > 87
 -> class waspada [0.933]

Rule 45: (11, lift 2.8)
 tutupan_la = Rawa
 suhu_maksi > 34.6
 lama_penyinaran > 6.5
 -> class waspada [0.923]

Rule 46: (54/4, lift 2.7)
 tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan
 Rawa/Gambut}
 suhu_minim <= 26.8
 suhu_avg > 29.5
 lama_penyinaran <= 5.6
 -> class waspada [0.911]

Rule 47: (9, lift 2.7)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak
 Belukar, Tanah Kosong/Gundul/Alang-
 alang}
 suhu_avg > 27.5
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 3
 -> class waspada [0.909]

Rule 48: (31/2, lift 2.7)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 kelembaban <= 77
 kecepatan_angin > 4
 lama_penyinaran > 7.1
 -> class waspada [0.909]

Rule 49: (9, lift 2.7)
 tutupan_la = Semak Belukar
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 3
 -> class waspada [0.909]

Rule 50: (6, lift 2.6)
 tutupan_la = Tegalan/Ladang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 3
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.875]
 Rule 51: (22/2, lift 2.6)
 tutupan_la in {Semak Belukar, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang/Tegalan/Ladang}
 suhu_minim > 25.9
 kecepatan_angin > 6
 -> class waspada [0.875]
 Rule 52: (34/4, lift 2.6)
 tutupan_la = Tanah Kosong/Gundul, Alang-alang
 suhu_minim <= 26.4
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.861]
 Rule 53: (5, lift 2.6)
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Sawah, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 suhu_minim > 24.6
 suhu_maksi <= 34.6
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 3
 -> class waspada [0.857]
 Rule 54: (5, lift 2.6)
 kedalaman_ in {D3, D4, D2}
 tutupan_la = Perkebunan/Kebun
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 28
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin > 3
 -> class waspada [0.857]
 Rule 55: (39/5, lift 2.6)
 kedalaman_ in {D1, D2}
 tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut}
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 29.5
 suhu_maksi <= 34.4
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin > 4
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.854]
 Rule 56: (23/3, lift 2.5)
 kedalaman_ = D4
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar}
 suhu_maksi > 34.6
 kelembaban > 73
 kelembaban <= 74
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.840]
 Rule 57: (16/2, lift 2.5)
 kedalaman_ in {D4, D2}

tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 suhu_maksi <= 34.6
 kelembaban <= 77
 lama_penyinaran > 6
 lama_penyinaran <= 7
 -> class waspada [0.833]
 Rule 58: (15/2, lift 2.5)
 kedalaman_ in {D3, D4, D1}
 kelembaban > 82
 kelembaban <= 83
 -> class waspada [0.824]
 Rule 59: (9/1, lift 2.5)
 tutupan_la = Semak Belukar
 suhu_maksi > 34.9
 kelembaban > 74
 -> class waspada [0.818]
 Rule 60: (143/28, lift 2.4)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la in {Semak Belukar, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.800]
 Rule 61: (3, lift 2.4)
 kedalaman_ = D2
 tutupan_la = Non Vegetasi
 suhu_avg > 28.9
 kecepatan_angin <= 4
 -> class waspada [0.800]
 Rule 62: (13/2, lift 2.4)
 tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut}
 suhu_minim > 26.8
 lama_penyinaran > 5.6
 -> class waspada [0.800]
 Rule 63: (12/2, lift 2.4)
 kedalaman_ = D1
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar}
 suhu_avg > 27.5
 suhu_maksi <= 34
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.786]
 Rule 64: (59/13, lift 2.3)
 tutupan_la in {Tegalan/Ladang, Hutan Rimba}
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 6
 -> class waspada [0.770]
 Rule 65: (19/4, lift 2.3)
 kedalaman_ in {D3, D4, D2}
 tutupan_la in {Perkebunan/Kebun, Semak Belukar, Sawah}

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

suhu_minim <= 25.1
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 80
 kecepatan_angin <= 6
 lama_penyinaran > 6
 -> class waspada [0.762]
 Rule 66: (26/6, lift 2.3)
 kedalaman_in {D3, D4}

tutupan_la in {Non Vegetasi, Hutan Rawa/Gambut}
 suhu_avg > 28.9
 suhu_avg <= 29.5
 -> class waspada [0.750]
 Rule 67: (47/13, lift 2.1)
 suhu_avg <= 27.5
 kelembaban <= 81
 -> class waspada [0.714]
 Default class: waspada

Model Klasifikasi berbasis aturan di Sumatra

Rule 1: (179, lift 3.0)
 suhu_minim > 24.5
 suhu_maksi > 33.225
 suhu_maksi <= 33.3
 -> class perlu diperhatikan [0.994]
 Rule 2: (523/3, lift 3.0)
 suhu_minim > 23.1
 suhu_avg > 27.6
 suhu_maksi > 33.225
 suhu_maksi <= 33.3
 -> class perlu diperhatikan [0.992]
 Rule 3: (104, lift 3.0)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 22.1
 kelembaban > 81
 -> class perlu diperhatikan [0.991]
 Rule 4: (49, lift 2.9)
 curah_huja > 41.6
 -> class perlu diperhatikan [0.980]
 Rule 5: (39, lift 2.9)
 kedalaman_g = D3
 vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, Non Vegetasi}
 suhu_maksi <= 33.8
 lama_penyi <= 0.9
 -> class perlu diperhatikan [0.976]
 Rule 6: (46/1, lift 2.9)
 suhu_maksi > 32.7
 suhu_maksi <= 33.8
 kelembaban > 84
 lama_penyi <= 0.9
 -> class perlu diperhatikan [0.958]
 Rule 7: (45/1, lift 2.9)
 kedalaman_g = D3
 suhu_avg > 28
 suhu_avg <= 28.1
 suhu_maksi <= 32.7
 kelembaban > 81
 -> class perlu diperhatikan [0.957]
 Rule 8: (21, lift 2.9)
 suhu_minim > 22.9
 suhu_maksi > 33.8
 kelembaban <= 87

kecepatan_angin > 2
 curah_huja > 23.1
 -> class perlu diperhatikan [0.957]
 Rule 9: (66/2, lift 2.9)
 suhu_avg > 28.3
 suhu_maksi > 33.225
 suhu_maksi <= 33.8
 kelembaban > 81
 kelembaban <= 83
 -> class perlu diperhatikan [0.956]
 Rule 10: (29/1, lift 2.8)
 vegetasi in {hutan rimba, Non Vegetasi}
 suhu_minim <= 23.6
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 28.2
 suhu_maksi <= 33.8
 kelembaban > 81
 lama_penyi <= 6.9
 -> class perlu diperhatikan [0.935]
 Rule 11: (13, lift 2.8)
 vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun}
 suhu_avg <= 28.3
 suhu_maksi > 33.5
 kelembaban <= 81
 lama_penyi > 1.9
 lama_penyi <= 2
 -> class perlu diperhatikan [0.933]
 Rule 12: (13, lift 2.8)
 kedalaman_g in {D4, D2}
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 23.6
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 28.2
 kelembaban > 81
 lama_penyi > 4.1
 -> class perlu diperhatikan [0.933]
 Rule 13: (27/1, lift 2.8)
 kedalaman_g in {D3, D4}
 suhu_maksi > 33.5
 curah_huja > 4.05
 curah_huja <= 4.8
 -> class perlu diperhatikan [0.931]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a.

Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b.

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak Cipta milik INSTITUT PERTANIAN BOGOR (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural U

Lampiran 4 lanjutan

Rule 14: (12, lift 2.8)

kedalamm_g = D3

suhu_avg > 27.1

suhu_maksi <= 33.225

kelembaban > 79

kelembaban <= 81

curah_huja > 0.1

curah_huja <= 0.65

lama_penyi > 1.9

-> class perlu diperhatikan [0.929]

Rule 15: (38/2, lift 2.8)

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_maksi > 33.5

kelembaban > 75

kelembaban <= 80

kecepatan_angin > 5

kecepatan_angin <= 7

curah_huja <= 6.3

lama_penyi <= 9.4

-> class perlu diperhatikan [0.925]

Rule 16: (1, lift 2.8)

kedalamm_g = D3

suhu_avg > 27.9

kelembaban > 81

curah_huja > 25.6

-> class perlu diperhatikan [0.923]

Rule 17: (6/4, lift 2.8)

kedalamm_g in {D3, D4}

vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba,

Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi}

suhu_minim <= 23.8

suhu_maksi <= 33.9

kelembaban <= 81

curah_huja <= 6.3

lama_penyi <= 1.9

-> class perlu diperhatikan [0.921]

Rule 18: (23/1, lift 2.8)

kedalamm_g = D3

vegetasi in {hutan rimba, tegalan/ladang}

suhu_maksi <= 33.5

kelembaban > 78

kelembaban <= 79

curah_huja > 0.4

curah_huja <= 6.3

-> class perlu diperhatikan [0.920]

Rule 19: (18/1, lift 2.7)

kedalamm_g = D4

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_minim > 23.6

suhu_minim <= 24.1

suhu_avg <= 27.9

suhu_maksi > 33.225

suhu_maksi <= 33.8

-> class perlu diperhatikan [0.900]

Rule 20: (95/9, lift 2.7)

kedalamm_g in {D3, D4, D2}

vegetasi in {Semak Belukar, Perkebunan/Kebun}

suhu_maksi <= 33.9

kelembaban > 79

kelembaban <= 81

curah_huja <= 6.3

lama_penyi <= 1.9

-> class perlu diperhatikan [0.897]

Rule 21: (34/3, lift 2.7)

kedalamm_g in {D3, D4}

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_avg > 27.1

suhu_avg <= 29.7

kelembaban > 79

kelembaban <= 80

kecepatan_angin > 5

curah_huja <= 6.3

lama_penyi > 3.2

-> class perlu diperhatikan [0.889]

Rule 22: (43/4, lift 2.7)

kedalamm_g = D4

vegetasi = hutan rimba

suhu_avg <= 27.9

suhu_maksi > 33.5

suhu_maksi <= 33.8

-> class perlu diperhatikan [0.889]

Rule 23: (58/6, lift 2.6)

kedalamm_g = D3

vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi}

suhu_avg > 28

suhu_maksi <= 33.5

kelembaban > 78

kelembaban <= 79

-> class perlu diperhatikan [0.883]

Rule 24: (40/4, lift 2.6)

suhu_maksi > 32.7

curah_huja > 4.5

lama_penyi > 0.1

lama_penyi <= 0.9

-> class perlu diperhatikan [0.881]

Rule 25: (6, lift 2.6)

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_minim > 23.4

suhu_minim <= 24.3

suhu_maksi > 33.5

suhu_maksi <= 34.1

kelembaban <= 81

kecepatan_angin <= 3

curah_huja <= 1.1

-> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 26: (6, lift 2.6)

kedalamm_g = D3

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_avg <= 29.3

suhu_maksi > 35.2

1.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a.

Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang

Lampiran 4 lanjutan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Institut Pertanian Bogor

kelembaban <= 81
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 27: (6, lift 2.6)
 suhu_minim > 22.9
 suhu_minim <= 23.3
 suhu_maksi > 33.8
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 2
 curah_huja <= 18.35
 lama_penyi > 0.8
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 28: (6, lift 2.6)
 kedalarn_g = D4
 vegetasi = hutan rimba
 suhu_minim > 25.1
 kelembaban > 81
 lama_penyi <= 5.6
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 29: (6, lift 2.6)
 vegetasi = hutan rimba
 suhu_maksi > 35.3
 kelembaban > 81
 lama_penyi > 5.6
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 30: (6, lift 2.6)
 suhu_minim > 23.9
 suhu_minim <= 24.1
 suhu_maksi > 34.1
 kelembaban > 81
 lama_penyi > 5.6
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 31: (30/3, lift 2.6)
 vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun}
 suhu_maksi > 33.8
 kelembaban > 87
 -> class perlu diperhatikan [0.875]

Rule 32: (5, lift 2.6)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_maksi > 33.5
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 3
 lama_penyi > 1.9
 lama_penyi <= 2
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 33: (12/1, lift 2.6)
 kedalarn_g in {D3, D4}
 vegetasi = Non Vegetasi
 suhu_maksi > 33.5
 suhu_maksi <= 33.7
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 81
 curah_huja <= 0.3
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 34: (5, lift 2.6)
 kedalarn_g = D4

suhu_avg > 27.1
 kelembaban <= 81
 curah_huja <= 0.3
 lama_penyi > 3.2
 lama_penyi <= 3.9
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 35: (12/1, lift 2.6)
 kedalarn_g = D2
 suhu_maksi <= 32.7
 kelembaban > 82
 kelembaban <= 83
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 36: (19/2, lift 2.6)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 24.1
 suhu_maksi > 33.8
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 2
 kecepatan_angin <= 3
 lama_penyi > 5.6
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 37: (5, lift 2.6)
 kedalarn_g = D2
 vegetasi = tegalan/ladang
 kelembaban <= 81
 lama_penyi <= 1.9
 -> class perlu diperhatikan [0.857]

Rule 38: (25/3, lift 2.6)
 suhu_avg <= 27.6
 suhu_maksi > 32.2
 suhu_maksi <= 32.5
 kelembaban > 81
 curah_huja <= 4.05
 -> class perlu diperhatikan [0.852]

Rule 39: (25/3, lift 2.6)
 suhu_minim > 25.5
 suhu_maksi > 32.7
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 2
 -> class perlu diperhatikan [0.852]

Rule 40: (45/6, lift 2.6)
 kedalarn_g in {D4, D1}
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 24.1
 suhu_maksi > 32.7
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 2
 lama_penyi > 5.6
 -> class perlu diperhatikan [0.851]

Rule 41: (108/16, lift 2.5)
 kedalarn_g = D2
 suhu_minim > 23.6
 suhu_avg <= 27.9
 suhu_maksi > 33.225
 suhu_maksi <= 33.8
 kelembaban > 81

Lampiran 4 lanjutan

-> class perlu diperhatikan [0.845]

Rule 42: (60/9, lift 2.5)

kedalamm_g = D3

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_minim <= 23.6

suhu_avg > 27.5

suhu_avg <= 28.3

suhu_maksi > 32.7

suhu_maksi <= 33.8

curah_huja <= 20.6

lama_penyi <= 4.1

-> class perlu diperhatikan [0.839]

Rule 43: (4, lift 2.5)

kedalamm_g = D1

suhu_avg <= 27.6

suhu_maksi <= 32.7

kelembaban > 81

-> class perlu diperhatikan [0.833]

Rule 44: (124/20, lift 2.5)

suhu_minim > 22.1

suhu_minim <= 23.1

suhu_maksi > 32.7

suhu_maksi <= 33.4

kelembaban > 81

-> class perlu diperhatikan [0.833]

Rule 45: (20/3, lift 2.5)

vegetasi = hutan rimba

suhu_minim <= 25

suhu_avg > 28.7

suhu_avg <= 29.3

suhu_maksi > 34.3

kelembaban > 77

kelembaban <= 81

kecepatan_angin <= 5

curah_huja <= 0.1

-> class perlu diperhatikan [0.818]

Rule 46: (78/14, lift 2.4)

kedalamm_g = D3

vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi}

suhu_minim > 23.6

suhu_avg <= 27.9

suhu_maksi > 32.7

suhu_maksi <= 33.225

kelembaban > 81

kelembaban <= 87

-> class perlu diperhatikan [0.813]

Rule 47: (114/22, lift 2.4)

kedalamm_g = D3

vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun, Non Vegetasi}

suhu_minim > 23.6

suhu_avg <= 27.9

suhu_maksi > 33.3

suhu_maksi <= 33.8

kelembaban > 82

-> class perlu diperhatikan [0.802]

Rule 48: (27/5, lift 2.4)

vegetasi = hutan rimba

suhu_avg > 27.1

suhu_avg <= 27.5

suhu_maksi <= 33.5

kelembaban <= 78

-> class perlu diperhatikan [0.793]

Rule 49: (478/100, lift 2.4)

kedalamm_g in {D3, D4, D1}

suhu_avg > 27.1

suhu_maksi > 33.225

suhu_maksi <= 33.5

kelembaban <= 81

curah_huja <= 6.3

lama_penyi <= 9.4

-> class perlu diperhatikan [0.790]

Rule 50: (7/1, lift 2.3)

kedalamm_g = D4

suhu_maksi > 33.8

kelembaban > 85

kecepatan_angin <= 2

-> class perlu diperhatikan [0.778]

Rule 51: (20/4, lift 2.3)

kedalamm_g in {D3, D4}

kelembaban <= 80

curah_huja > 5.2

curah_huja <= 6.3

-> class perlu diperhatikan [0.773]

Rule 52: (37/8, lift 2.3)

kedalamm_g in {D3, D4}

vegetasi = hutan rimba

suhu_avg > 27.1

suhu_avg <= 27.8

suhu_maksi <= 33.225

curah_huja > 0.1

curah_huja <= 6.3

-> class perlu diperhatikan [0.769]

Rule 53: (23/5, lift 2.3)

kedalamm_g = D3

vegetasi = Perkebunan/Kebun

suhu_minim > 23.4

suhu_minim <= 24.1

suhu_maksi > 34.3

kelembaban <= 81

kecepatan_angin > 3

kecepatan_angin <= 4

curah_huja <= 1.1

lama_penyi > 5.3

-> class perlu diperhatikan [0.760]

Rule 54: (112/27, lift 2.3)

kedalamm_g in {D3, D4}

suhu_avg > 27.5

suhu_maksi > 31.5

suhu_maksi <= 33.225

kelembaban > 74

1.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a.

Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan,

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang

Undang-Undang Hak Cipta

Tentang Perlindungan

Berintegritas dan

Transparansi

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Agricultural U

ndependent

and Inclusive

IPB

Universitas Pertanian

Bogor

Lampiran 4 lanjutan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

```

kelembaban <= 78
kecepatan_angin <= 5
lama_penyi <= 7.233333
-> class perlu diperhatikan [0.754]
Rule 55: (6/1, lift 2.3)
kedalamm_g = D2
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 82
kecepatan_angin <= 2
-> class perlu diperhatikan [0.750]
Rule 56: (89/22, lift 2.2)
kedalamm_g in {D3, D4, D1}
suhu_avg > 26.4
suhu_avg <= 27.6
suhu_maksi > 30.8
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 81
lama_penyi > 6
-> class perlu diperhatikan [0.747]
Rule 57: (14/4, lift 2.1)
kedalamm_g = D4
suhu_minim <= 23.9
suhu_maksi > 33.5
kecepatan_angin > 5
curah_huja <= 6.3
-> class perlu diperhatikan [0.688]
Rule 58: (95/30, lift 2.0)
kedalamm_g in {D3, D4, D1}
vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba,
tegalan/ladang, Non Vegetasi,
Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
suhu_minim <= 25
suhu_avg > 28.7
suhu_avg <= 29.3
kelembaban > 77
kelembaban <= 81
kecepatan_angin <= 5
curah_huja <= 0.1
lama_penyi > 1.9
-> class perlu diperhatikan [0.680]
Rule 59: (73/24, lift 2.0)
kedalamm_g in {D3, D4}
suhu_avg > 28
kecepatan_angin > 4
lama_penyi > 2
lama_penyi <= 2.9
-> class perlu diperhatikan [0.667]
Rule 60: (68/23, lift 2.0)
kedalamm_g = D4
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_maksi > 34.3
kecepatan_angin <= 4
lama_penyi > 7.4
-> class perlu diperhatikan [0.657]
Rule 61: (85/29, lift 2.0)
kedalamm_g in {D3, D4}
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_maksi > 34.2
kelembaban > 81
kecepatan_angin > 2
kecepatan_angin <= 6
curah_huja <= 18.35
lama_penyi > 5.6
-> class perlu diperhatikan [0.655]
Rule 62: (26/9, lift 1.9)
kedalamm_g = D4
suhu_avg > 29.7
-> class perlu diperhatikan [0.643]
Rule 63: (154/57, lift 1.9)
suhu_minim > 21.4
kelembaban <= 81
lama_penyi > 9.4
-> class perlu diperhatikan [0.628]
Rule 64: (289/127, lift 1.7)
suhu_avg > 27.4
kelembaban <= 81
curah_huja > 6.3
-> class perlu diperhatikan [0.560]
Rule 65: (91/43, lift 1.6)
curah_huja > 0.9
curah_huja <= 1.1
-> class perlu diperhatikan [0.527]
Rule 66: (76, lift 3.0)
kedalamm_g = D2
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 81
kelembaban <= 82
curah_huja <= 1.5
-> class segera penanggulangan [0.987]
Rule 67: (16, lift 2.8)
suhu_avg > 28.8
kelembaban <= 81
lama_penyi > 2.9
lama_penyi <= 3.2
-> class segera penanggulangan [0.944]
Rule 68: (82/4, lift 2.8)
kedalamm_g in {D3, D4}
suhu_avg > 27.1
suhu_maksi <= 33.225
kelembaban > 79
kelembaban <= 81
kecepatan_angin > 3
curah_huja > 0.65
curah_huja <= 6.3
-> class segera penanggulangan [0.940]
Rule 69: (6, lift 2.6)
suhu_avg > 28.9
suhu_maksi <= 33.225
kelembaban > 79
kelembaban <= 81
-> class segera penanggulangan [0.875]
Rule 70: (14/1, lift 2.6)

```



Lampiran 4 lanjutan

suhu_avg > 28.7
kecepatan_angin > 3
lama_penyi > 1.9
lama_penyi <= 2
-> class segera penanggulangan [0.875]

Rule 71: (6, lift 2.6)
suhu_minim > 21.4
suhu_maksi <= 32.9
kelembaban <= 81
lama_penyi > 9.4
lama_penyi <= 10.3
-> class segera penanggulangan [0.875]

Rule 72: (94/12, lift 2.6)
kedalaman_g in {D3, D4, D1}
vegetasi = Non Vegetasi
suhu_maksi > 33.5
suhu_maksi <= 34.6
kelembaban <= 76
kecepatan_angin <= 5
lama_penyi <= 8.7
-> class segera penanggulangan [0.865]

Rule 73: (2/3, lift 2.6)
vegetasi = hutan rimba
suhu_maksi > 33.225
suhu_maksi <= 33.5
kelembaban <= 73
-> class segera penanggulangan [0.852]

Rule 74: (4, lift 2.5)
kedalaman_g = D4
suhu_maksi <= 30.8
kelembaban > 81
-> class segera penanggulangan [0.833]

Rule 75: (36/7, lift 2.4)
suhu_avg > 27.1
suhu_maksi > 33.3
suhu_maksi <= 33.5
kelembaban > 80
kelembaban <= 81
curah_hujan <= 6.3
-> class segera penanggulangan [0.789]

Rule 76: (92/20, lift 2.3)
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_avg > 29.3
suhu_avg <= 29.7
suhu_maksi > 33.5
kecepatan_angin <= 5
lama_penyi > 2.9
lama_penyi <= 7.5
-> class segera penanggulangan [0.777]

Rule 77: (146/38, lift 2.2)
kedalaman_g = D3
suhu_minim > 23.7
suhu_minim <= 24.1
suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 78
kecepatan_angin > 3

1.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

PERKEBUNAN IPB (Institut Pertanian Bogor)

kecepatan_angin <= 4
lama_penyi <= 9.4
-> class segera penanggulangan [0.736]

Rule 78: (12/3, lift 2.1)
suhu_avg <= 27.1
kelembaban <= 77
lama_penyi > 7
lama_penyi <= 9.4
-> class segera penanggulangan [0.714]

Rule 79: (4997/2632, lift 1.4)
kelembaban <= 81
-> class segera penanggulangan [0.473]

Rule 80: (91, lift 3.0)
suhu_avg <= 27.1
kelembaban > 77
kelembaban <= 80
lama_penyi > 1.9
lama_penyi <= 8.5
-> class waspada [0.989]

Rule 81: (60, lift 3.0)
suhu_avg > 27.9
suhu_maksi > 33.3
suhu_maksi <= 33.8
kelembaban > 81
lama_penyi > 0.9
-> class waspada [0.984]

Rule 82: (57, lift 2.9)
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_minim > 22.1
suhu_minim <= 23.1
kelembaban > 81
curah_hujan <= 0.8
-> class waspada [0.983]

Rule 83: (56, lift 2.9)
kedalaman_g = D2
suhu_minim > 24.1
suhu_maksi > 33.8
kelembaban > 81
-> class waspada [0.983]

Rule 84: (50, lift 2.9)
kedalaman_g = D2
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 83
kecepatan_angin > 2
-> class waspada [0.981]

Rule 85: (43, lift 2.9)
suhu_avg > 28.1
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 81
-> class waspada [0.978]

Rule 86: (40, lift 2.9)
suhu_maksi > 34.5
kelembaban <= 81
curah_hujan > 6.3
curah_hujan <= 34.9
-> class waspada [0.976]

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

Rule 87: (39, lift 2.9)
 kedalamn_g in {D3, D4}
 suhu_avg > 26.4
 suhu_maksi <= 32.7
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 4
 -> class waspada [0.976]

Rule 88: (37, lift 2.9)
 kedalamn_g = D3
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim > 23.4
 suhu_minim <= 24.9
 suhu_maksi > 34.1
 suhu_maksi <= 34.3
 lama_penyi > 3.9
 -> class waspada [0.974]

Rule 89: (34, lift 2.9)
 kedalamn_g = D3
 vegetasi in {Semak Belukar, tegalan/ladang, Non Vegetasi, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 suhu_avg > 26.4
 suhu_maksi <= 32.7
 kelembaban > 81
 -> class waspada [0.972]

Rule 90: (30, lift 2.9)
 vegetasi in {Semak Belukar, tegalan/ladang, Non Vegetasi}
 suhu_maksi > 33.9
 lama_penyi <= 2.9
 -> class waspada [0.969]

Rule 91: (29, lift 2.9)
 kedalamn_g = D3
 suhu_minim > 22.8
 kelembaban <= 81
 curah_huja > 6.7
 lama_penyi <= 4.3
 -> class waspada [0.968]

Rule 92: (29, lift 2.9)
 vegetasi in {tegalan/ladang, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
 curah_huja > 6.3
 -> class waspada [0.968]

Rule 93: (28, lift 2.9)
 kedalamn_g in {D3, D4}
 suhu_minim > 23.8
 suhu_maksi > 33.3
 suhu_maksi <= 33.5
 kelembaban > 79
 curah_huja <= 6.3
 lama_penyi > 1.9
 -> class waspada [0.967]

Rule 94: (27, lift 2.9)
 kedalamn_g = D2
 suhu_minim <= 23.9
 kelembaban > 81

kecepatan_angin > 3
 curah_huja <= 23.1
 -> class waspada [0.966]

Rule 95: (26, lift 2.9)
 kedalamn_g = D3
 suhu_minim > 23.6
 suhu_avg > 27.9
 suhu_avg <= 28.3
 suhu_maksi <= 33.225
 kelembaban > 81
 curah_huja <= 25.6
 lama_penyi > 0.9
 -> class waspada [0.964]

Rule 96: (25, lift 2.9)
 kedalamn_g in {D4, D2, D1}
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim <= 23.6
 suhu_maksi > 32.7
 kelembaban > 81
 lama_penyi > 0.9
 lama_penyi <= 4.1
 -> class waspada [0.963]

Rule 97: (25, lift 2.9)
 vegetasi = Semak Belukar
 suhu_minim > 23.1
 suhu_minim <= 23.6
 kelembaban > 81
 -> class waspada [0.963]

Rule 98: (24, lift 2.9)
 kedalamn_g in {D3, D4}
 suhu_avg <= 27.1
 suhu_maksi <= 31
 kelembaban <= 81
 -> class waspada [0.962]

Rule 99: (22, lift 2.9)
 kedalamn_g in {D3, D4}
 suhu_minim <= 23.4
 suhu_avg > 27.1
 suhu_maksi > 33.5
 suhu_maksi <= 34.1
 kecepatan_angin <= 5
 curah_huja <= 3.7
 lama_penyi > 3.2
 -> class waspada [0.958]

Rule 100: (21, lift 2.9)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_avg > 27.1
 suhu_avg <= 27.8
 suhu_maksi <= 32.9
 kecepatan_angin <= 3
 curah_huja > 0.1
 curah_huja <= 6.3
 -> class waspada [0.957]

Rule 101: (20, lift 2.9)
 kedalamn_g = D4
 vegetasi = Perkebunan/Kebun

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

```

suhu_minim <= 24.9
suhu_avg > 27.1
suhu_avg <= 29.3
suhu_maksi > 33.5
kecepatan_angin > 4
kecepatan_angin <= 5
lama_penyi > 3.2
-> class waspada [0.955]
Rule 102: (20, lift 2.9)
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 75
kecepatan_angin > 5
curah_huja <= 6.3
lama_penyi <= 9.4
-> class waspada [0.955]
Rule 103: (21/1, lift 2.9)
vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba,
tegalan/ladang, Non Vegetasi, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
suhu_maksi > 33.5
kelembaban > 71
kecepatan_angin > 5
kecepatan_angin <= 9
curah_huja <= 0.8
lama_penyi <= 9.4
-> class waspada [0.953]
Rule 104: (9, lift 2.9)
kedalamn_g in {D3, D4}
vegetasi in {Semak Belukar, Perkebunan/Kebun, tegalan/ladang}
suhu_avg > 27.1
suhu_avg <= 28.8
suhu_maksi > 34.1
kelembaban <= 81
lama_penyi > 1.9
lama_penyi <= 3.2
-> class waspada [0.952]
Rule 105: (19, lift 2.9)
vegetasi = Non Vegetasi
suhu_minim > 24.1
suhu_minim <= 24.7
suhu_maksi > 33.7
curah_huja <= 0.3
-> class waspada [0.952]
Rule 106: (19, lift 2.9)
kedalamn_g = D2
suhu_avg <= 26.2
lama_penyi <= 3.8
-> class waspada [0.952]
Rule 107: (19, lift 2.9)
vegetasi = hutan rimba
suhu_avg <= 27.2
suhu_maksi <= 32.7
kelembaban > 81
-> class waspada [0.952]
Rule 108: (19, lift 2.9)
suhu_minim > 23.8
kelembaban <= 79
lama_penyi <= 1.9
-> class waspada [0.952]
Rule 109: (18, lift 2.8)
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_minim <= 22.8
suhu_avg > 27.1
suhu_maksi > 33.5
kecepatan_angin <= 5
curah_huja <= 3.7
-> class waspada [0.950]
Rule 110: (18, lift 2.8)
kedalamn_g = D3
suhu_minim > 23.8
suhu_avg > 27.1
kecepatan_angin <= 5
curah_huja > 5.2
curah_huja <= 6.3
lama_penyi > 3.2
-> class waspada [0.950]
Rule 111: (18, lift 2.8)
suhu_avg <= 27.9
suhu_maksi <= 33.225
kelembaban > 78
kelembaban <= 79
-> class waspada [0.950]
Rule 112: (18, lift 2.8)
kedalamn_g = D3
suhu_minim > 23.6
suhu_avg <= 28.3
suhu_maksi > 33.3
curah_huja > 18.35
lama_penyi <= 7.3
-> class waspada [0.950]
Rule 113: (17, lift 2.8)
vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba}
suhu_minim <= 25
suhu_avg > 28.9
suhu_maksi > 34.1
suhu_maksi <= 34.3
lama_penyi > 3.2
-> class waspada [0.947]
Rule 114: (17, lift 2.8)
kedalamn_g = D4
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_minim <= 24.9
suhu_avg <= 29.3
suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 81
kecepatan_angin <= 5
curah_huja <= 5.2
lama_penyi > 3.9
lama_penyi <= 7.4

```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

```

-> class waspada [0.947]
Rule 115: (17, lift 2.8)
  kedalamn_g = D2
  vegetasi in {tegalan/ladang, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang}
  kelembaban <= 81
  lama_penyi > 1.9
  -> class waspada [0.947]
Rule 116: (16, lift 2.8)
  kedalamn_g = D3
  vegetasi = hutan rimba
  suhu_maksi > 33.5
  kelembaban > 76
  kelembaban <= 77
  -> class waspada [0.944]
Rule 117: (15, lift 2.8)
  vegetasi in {Semak Belukar, tegalan/ladang}
  kelembaban <= 77
  lama_penyi > 8.7
  -> class waspada [0.941]
Rule 118: (15, lift 2.8)
  kedalamn_g = D3
  vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, tegalan/ladang, Non Vegetasi}
  suhu_minim <= 24.7
  suhu_maksi > 33.5
  kecepatan_angin <= 2
  lama_penyi > 3.2
  -> class waspada [0.941]
Rule 119: (15, lift 2.8)
  vegetasi = Non Vegetasi
  suhu_avg > 28.4
  suhu_avg <= 28.7
  suhu_maksi > 33.7
  kelembaban > 77
  curah_huja <= 0.3
  -> class waspada [0.941]
Rule 120: (14, lift 2.8)
  suhu_minim <= 22.7
  suhu_maksi <= 33.5
  kelembaban > 79
  kelembaban <= 80
  -> class waspada [0.938]
Rule 121: (14, lift 2.8)
  vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, tegalan/ladang, Non Vegetasi}
  suhu_avg > 28.8
  kelembaban > 76
  kelembaban <= 77
  curah_huja <= 6.3
  -> class waspada [0.938]
Rule 122: (14, lift 2.8)
  kedalamn_g in {D3, D4}
  vegetasi = tegalan/ladang
  kelembaban <= 81
  lama_penyi <= 1.9
  -> class waspada [0.938]
Rule 123: (13, lift 2.8)
  suhu_avg > 28.3
  suhu_avg <= 28.7
  lama_penyi > 1.9
  lama_penyi <= 2
  -> class waspada [0.933]
Rule 124: (13, lift 2.8)
  vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun}
  suhu_avg <= 28
  suhu_maksi > 33.5
  kecepatan_angin > 4
  lama_penyi > 1.9
  lama_penyi <= 2.9
  -> class waspada [0.933]
Rule 125: (13, lift 2.8)
  kedalamn_g = D3
  suhu_avg > 28.4
  suhu_avg <= 28.5
  kelembaban <= 80
  kecepatan_angin <= 4
  curah_huja > 0.3
  lama_penyi > 1.9
  -> class waspada [0.933]
Rule 126: (13, lift 2.8)
  kedalamn_g = D2
  vegetasi in {hutan rimba, Non Vegetasi}
  suhu_avg <= 29
  suhu_maksi > 34.3
  kelembaban <= 81
  -> class waspada [0.933]
Rule 127: (13, lift 2.8)
  vegetasi = Perkebunan/Kebun
  kelembaban <= 81
  curah_huja > 19.7
  curah_huja <= 34.9
  lama_penyi > 4.3
  -> class waspada [0.933]
Rule 128: (13, lift 2.8)
  vegetasi in {hutan rimba, Non Vegetasi}
  suhu_minim > 23.8
  suhu_minim <= 24.5
  kelembaban <= 81
  lama_penyi <= 1.9
  -> class waspada [0.933]
Rule 129: (12, lift 2.8)
  vegetasi = tegalan/ladang
  suhu_avg > 28
  suhu_avg <= 28.8
  kelembaban <= 77
  -> class waspada [0.929]
Rule 130: (12, lift 2.8)
  kedalamn_g = D3
  suhu_avg <= 28.7
  lama_penyi <= 1.9
  -> class waspada [0.929]

```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengilang kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

suhu_maksi > 33.5
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 5
 curah_huja <= 0.3
 lama_penyi > 3.2
 lama_penyi <= 4.5
 -> class waspada [0.929]

Rule 131: (12, lift 2.8)
 kedalamn_g = D3
 suhu_maksi > 33.3
 suhu_maksi <= 33.5
 kelembaban > 79
 kelembaban <= 80
 curah_huja <= 6.3
 lama_penyi > 1.9
 -> class waspada [0.929]

Rule 132: (51/3, lift 2.8)
 vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, tegalan/ladang, Non Vegetasi, Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang, Rawa}
 suhu_minim > 22.9
 suhu_maksi > 33.5
 kecepatan_angin > 5
 kecepatan_angin <= 9
 curah_huja <= 0.8
 -> class waspada [0.925]

Rule 133: (51, lift 2.8)
 kedalamn_g = D4
 vegetasi = hutan rimba
 kelembaban <= 81
 lama_penyi <= 2.9
 -> class waspada [0.923]

Rule 134: (51, lift 2.8)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_maksi > 33.5
 suhu_maksi <= 34.1
 kelembaban > 80
 kecepatan_angin > 3
 curah_huja <= 1.1
 lama_penyi > 2.9
 lama_penyi <= 9.4
 -> class waspada [0.923]

Rule 135: (11, lift 2.8)
 kedalamn_g in {D3, D1}
 suhu_avg > 29.7
 suhu_maksi > 33.5
 -> class waspada [0.923]

Rule 136: (11, lift 2.8)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_avg <= 27.4
 kelembaban <= 81
 curah_huja > 6.3
 -> class waspada [0.923]

Rule 137: (11, lift 2.8)

kelembaban <= 81
 kecepatan_angin <= 2
 curah_huja > 6.3
 -> class waspada [0.923]

Rule 138: (11, lift 2.8)
 suhu_avg <= 28.3
 kelembaban <= 84
 lama_penyi <= 0.1
 -> class waspada [0.923]

Rule 139: (10, lift 2.8)
 kedalamn_g = D2
 vegetasi in {Semak Belukar, Perkebunan/Kebun}
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 79
 lama_penyi > 6.7
 -> class waspada [0.917]

Rule 140: (10, lift 2.8)
 kedalamn_g = D4
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_maksi <= 32.7
 lama_penyi > 6
 -> class waspada [0.917]

Rule 141: (79/6, lift 2.7)
 kedalamn_g in {D4, D2, D1}
 suhu_minim > 23.6
 suhu_avg <= 28.3
 suhu_maksi > 32.7
 suhu_maksi <= 33.225
 kelembaban > 81
 lama_penyi > 0.9
 -> class waspada [0.914]

Rule 142: (9, lift 2.7)
 vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba, tegalan/ladang}
 suhu_avg > 28.7
 curah_huja > 0.1
 curah_huja <= 0.3
 -> class waspada [0.909]

Rule 143: (9, lift 2.7)
 kedalamn_g = D2
 vegetasi in {hutan rimba, Non Vegetasi}
 suhu_minim <= 24
 kecepatan_angin > 4
 -> class waspada [0.909]

Rule 144: (9, lift 2.7)
 kedalamn_g = D2
 vegetasi = Semak Belukar
 suhu_maksi > 33.7
 suhu_maksi <= 34.9
 kelembaban <= 80
 -> class waspada [0.909]

Rule 145: (9, lift 2.7)
 vegetasi = hutan rimba
 suhu_avg > 27.5
 suhu_avg <= 28.3

Lampiran 4 lanjutan

suhu_maksi <= 33.225
 kelembaban <= 78
 -> class waspada [0.909]
 Rule 146: (9, lift 2.7)
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 6
 lama_penyi > 5.6
 -> class waspada [0.909]
 Rule 147: (127/11, lift 2.7)
 suhu_minim > 23.3
 suhu_minim <= 25.1
 suhu_maksi > 33.8
 kelembaban > 81
 kecepatan_angin > 2
 lama_penyi > 0.8
 lama_penyi <= 5.6
 -> class waspada [0.907]
 Rule 148: (8, lift 2.7)
 vegetasi in {hutan rimba, tegalan/ladang}
 suhu_minim <= 23
 suhu_maksi > 33.5
 curah_huja > 0.3
 curah_huja <= 6.3
 lama_penyi > 1.9
 -> class waspada [0.900]
 Rule 149: (8, lift 2.7)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_avg > 27.1
 kelembaban <= 79
 kecepatan_angin > 7
 curah_huja <= 6.3
 -> class waspada [0.900]
 Rule 150: (8, lift 2.7)
 vegetasi in {hutan rimba, Perkebunan/Kebun, tegalan/ladang}
 suhu_maksi <= 33.225
 kelembaban <= 74
 kecepatan_angin <= 5
 lama_penyi <= 7.233333
 -> class waspada [0.900]
 Rule 151: (8, lift 2.7)
 suhu_minim <= 24.7
 suhu_avg > 27.1
 suhu_maksi <= 31.5
 kelembaban <= 79
 -> class waspada [0.900]
 Rule 152: (34/3, lift 2.7)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_minim > 23.4
 suhu_avg <= 29.3
 suhu_maksi > 34.1
 lama_penyi > 3.9
 lama_penyi <= 5.3
 -> class waspada [0.889]
 Rule 153: (7, lift 2.7)
 kedalamm_g = D2
 kecepatan_angin <= 3
 curah_huja > 0.5
 curah_huja <= 6.3
 lama_penyi > 3.8
 lama_penyi <= 5.8
 -> class waspada [0.889]
 Rule 154: (7, lift 2.7)
 vegetasi in {Tanah Kosong/Gundul/Alang-alang, Sawah}
 suhu_maksi <= 33.225
 kelembaban <= 79
 -> class waspada [0.889]
 Rule 155: (7, lift 2.7)
 kedalamm_g = D3
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 kelembaban <= 81
 curah_huja > 7.7
 curah_huja <= 15
 lama_penyi > 4.3
 -> class waspada [0.889]
 Rule 156: (7, lift 2.7)
 vegetasi = Semak Belukar
 suhu_avg <= 28.8
 suhu_maksi > 33.5
 kelembaban <= 75
 -> class waspada [0.889]
 Rule 157: (6, lift 2.6)
 vegetasi = Non Vegetasi
 suhu_avg <= 28.8
 kelembaban <= 75
 lama_penyi <= 8.7
 -> class waspada [0.875]
 Rule 158: (6, lift 2.6)
 vegetasi = hutan rimba
 suhu_maksi > 33.5
 suhu_maksi <= 33.7
 kelembaban > 77
 kelembaban <= 81
 curah_huja <= 0.3
 -> class waspada [0.875]
 Rule 159: (6, lift 2.6)
 suhu_avg <= 27.1
 suhu_maksi > 32.3
 kelembaban > 80
 kelembaban <= 81
 lama_penyi > 5.9
 lama_penyi <= 9.4
 -> class waspada [0.875]
 Rule 160: (6, lift 2.6)
 vegetasi = Perkebunan/Kebun
 suhu_maksi > 33.5
 lama_penyi > 9
 lama_penyi <= 9.4
 -> class waspada [0.875]
 Rule 161: (6, lift 2.6)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 lanjutan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

kedalaman_g = D3
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_maksi > 33.5
curah_huja > 1.1
curah_huja <= 3.7
lama_penyi > 6.9
-> class waspada [0.875]
Rule 162: (6, lift 2.6)
kedalaman_g in {D3, D4}
vegetasi = Semak Belukar
suhu_minim > 24.2
suhu_minim <= 24.4
kelembaban <= 77
kecepatan_angin <= 5
-> class waspada [0.875]
Rule 163: (6, lift 2.6)
kedalaman_g = D2
vegetasi in {Semak Perkebunan/Kebun}
kelembaban <= 76
-> class waspada [0.875]
Rule 164: (6, lift 2.6)
vegetasi = Non Vegetasi
suhu_minim <= 23
suhu_avg > 27.4
curah_huja > 6.3
-> class waspada [0.875]
Rule 165: (6, lift 2.6)
vegetasi = Non Vegetasi
suhu_minim <= 23
suhu_maksi <= 33.225
curah_huja <= 0.1
-> class waspada [0.875]
Rule 166: (6, lift 2.6)
suhu_avg <= 27.8
suhu_maksi > 32.9
suhu_maksi <= 33.1
kelembaban > 79
kelembaban <= 81
-> class waspada [0.875]
Rule 167: (5, lift 2.6)
kedalaman_g = D4
vegetasi = Semak Belukar
suhu_avg > 28.8
kelembaban <= 77
-> class waspada [0.857]
Rule 168: (5, lift 2.6)
vegetasi = hutan rimba
suhu_avg <= 28.8
suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 77
kecepatan_angin <= 3
-> class waspada [0.857]
Rule 169: (5, lift 2.6)
vegetasi = Perkebunan/Kebun

Belukar,

suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 77
lama_penyi > 2
lama_penyi <= 2.9
-> class waspada [0.857]
Rule 170: (26/3, lift 2.6)
suhu_avg > 27.1
suhu_maksi <= 33.225
kelembaban <= 78
lama_penyi > 7.233333
lama_penyi <= 9.4
-> class waspada [0.857]

Lampiran 4 lanjutan

Rule 171: (25/3, lift 2.6)
suhu_minim > 21.4
suhu_maksi > 32.9
curah_huja <= 6.3
lama_penyi > 9.6
-> class waspada [0.852]
Rule 172: (45/6, lift 2.6)
kedalaman_g = D3
vegetasi = Perkebunan/Kebun
suhu_minim > 23.4
suhu_minim <= 24.9
suhu_maksi > 34.1
suhu_maksi <= 35.2
kecepatan_angin > 4
lama_penyi > 3.9
-> class waspada [0.851]
Rule 173: (37/5, lift 2.5)
kedalaman_g in {D4, D1}
kelembaban <= 81
curah_huja > 6.3
curah_huja <= 34.9
-> class waspada [0.846]
Rule 174: (4, lift 2.5)
kedalaman_g = D3
suhu_avg > 27.1
kelembaban <= 76
kecepatan_angin <= 4
curah_huja > 0.3
-> class waspada [0.833]
Rule 175: (4, lift 2.5)
suhu_maksi > 33.5
kelembaban <= 81
curah_huja > 3.7
curah_huja <= 4.05
-> class waspada [0.833]
Rule 176: (4, lift 2.5)
kedalaman_g = D2
suhu_minim > 25.5
-> class waspada [0.833]
Rule 177: (4, lift 2.5)
suhu_minim <= 23
suhu_avg <= 27.1

Lampiran 4 lanjutan

```

curah_huja <= 6.3
lama_penyi <= 2.4
-> class waspada [0.833]
Rule 178: (68/11, lift 2.5)
    suhu_maksi > 33.9
    kelembaban <= 81
    curah_huja <= 6.3
    lama_penyi <= 1.9
    -> class waspada [0.829]
Rule 179: (37/9, lift 2.2)
    vegetasi = Perkebunan/Kebun
    suhu_minim > 23.4
    suhu_minim <= 24.1
    suhu_avg <= 29.3
    suhu_maksi > 34.1
    kecepatan_angin <= 3
    curah_huja <= 6.3
    lama_penyi > 3.9
    -> class waspada [0.744]
Rule 180: (25/6, lift 2.2)
    kedalamn_g = D3
    suhu_minim > 23.5
    suhu_avg > 28
    suhu_maksi > 33.5
    kelembaban <= 81
    lama_penyi > 2
    lama_penyi <= 2.9
    -> class waspada [0.741]
Rule 181: (23/6, lift 2.2)
    kedalamn_g in {D3, D4}
    suhu_avg > 28.7
    suhu_avg <= 28.9
    suhu_maksi <= 33.225
    curah_huja <= 6.3
-> class waspada [0.720]
Rule 182: (21/6, lift 2.1)
    kedalamn_g = D4
    vegetasi in {Semak Belukar, hutan rimba,
    Non Vegetasi}
        suhu_minim <= 24.7
        suhu_maksi > 33.5
        curah_huja > 0.3
        curah_huja <= 5.2
        lama_penyi > 2.9
        -> class waspada [0.696]
Rule 183: (142/45, lift 2.0)
    kedalamn_g = D3
    suhu_minim > 24.1
    suhu_minim <= 24.9
    suhu_maksi > 34.3
    suhu_maksi <= 35.2
    kelembaban <= 81
    kecepatan_angin > 2
    curah_huja <= 1.1
    lama_penyi > 5.3
    -> class waspada [0.681]
Rule 184: (17/6, lift 1.9)
    kedalamn_g in {D3, D4}
    vegetasi = Semak Belukar
    suhu_maksi <= 32.9
    kelembaban <= 79
    -> class waspada [0.632]
Rule 185: (113/60, lift 1.4)
    kedalamn_g = D1
    -> class waspada [0.470]
Rule 186: (6195/4099, lift 1.0)
    kedalamn_g in {D3, D4, D1}
    -> class waspada [0.338]
Default class: perlu diperhatikan

```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengilangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Lampiran 5 Hasil verifikasi menggunakan data patroli dengan menggunakan metode *buffering*

Provinsi	Longitude	Latitude	Jarak (km)	Tanggal tik patroli	Kondisi lahan	Kelas
RIAU	100.5219	2.008232	0.320	9/29/2016	9/29/2016 terbakar	waspadai
RIAU	100.5323	2.006701	0.264	9/30/2016	9/29/2016 terbakar	waspadai
RIAU	101.365	1.41494	0.297	8/2/2016	8/3/2016 bekas karhutla	waspadai
RIAU	102.498	-0.29478	0.005	6/5/2016	6/6/2016 bekas karhutla	waspadai
SUMATERA	105.021	-3.51596	0.112	9/3/2016	9/4/2016 rawan karhutla	segera
KALIMANTAN	109.094	1.0804	1.357	9/20/2016	9/18/2016 rawan karhutla	segera
KALIMANTAN	109.334	1.70275	0.752	9/20/2016	9/17/2016 bekas karhutla	segera
KALIMANTAN	109.398	-0.28387	0.301	8/7/2016	8/5/2016 bekas karhutla	segera
KALIMANTAN	110.1219	-1.63339	0.606	8/18/2016	8/7/2016 rawan karhutla	segera
KALIMANTAN	113.8441	-2.24862	1.700	3/20/2016	3/20/2016 rawan karhutla	segera
TENGGAH	114.1221	-2.3839	1.203	3/20/2016	3/19/2016 bekas karhutla	segera

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 7 Maret 1996 di Jakarta. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Hidayat dan Asniati. Pada tahun 2014, penulis lulus dari SMA Negeri 72 Jakarta dan diterima di Institut Pertanian Bogor melalui jalur SNMPTN Undangan di Departemen Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA). Penulis lulus dari program sarjana Ilmu Komputer IPB pada tahun 2018.

Selama aktif menjadi mahasiswa penulis merupakan anggota Divisi Edukasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Komputer (Himalkom) tahun 2015/2016. Penulis aktif mengikuti kegiatan berbagai kemahasiswaan sebagai panitia, seperti IT Today 2016 dan sekertaris umum di *Computer Problem Solving Competition* 2017. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapang di Asosiasi Asuransi Jiwa Indonesia pada bulan Juni-Agustus 2017. Selain itu, penulis juga pernah menjadi pemakalah di Seminar Nasional Ilmu Komputer 2018.